

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**VALDIR OLIVEIRA DA SILVA**

**UM MODELO PARA AVALIAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA MUDANÇA  
DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL PARA  
MANUFATURA CELULAR EMPREGANDO SIMULAÇÃO DISCRETA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do  
Grau de Mestre em Engenharia

Orientador: Prof. Paulo Freitas Filho, Dr

Florianópolis

2003

**VALDIR OLIVEIRA DA SILVA**

**UM MODELO PARA AVALIAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA MUDANÇA DE UM  
SISTEMA DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL PARA MANUFATURA CELULAR  
EMPREGANDO SIMULAÇÃO DISCRETA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia”, Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

---

Prof. Paulo Freitas Filho, Dr.Eng.  
Orientador

---

Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr.

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.

## **AGRADECIMENTOS**

No desenvolvimento deste trabalho, diversas pessoas contribuíram para que os objetivos fossem alcançados. Quero dedicar a todos que de alguma forma ajudaram em sua realização:

- Prof. Paulo Freitas Filho, pela orientação, dedicação, paciência e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.
- À Universidade Federal de Santa Catarina.
- À Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina.
- A empresa Metalúrgica Pagé Ltda e seus diretores: Gerci Pascoali, Marconi Pascoali e Ângela Pascoali Boeira pelo apoio e incentivo na execução deste trabalho.
- Ao engenheiro Pedro Zaccaron, pelo convívio diário e crescimento profissional.
- Aos gerentes, supervisores e colaboradores da Metalúrgica Pagé.
- A minha esposa Elineide, meus filhos Anderson e Ana cristine, pelo incentivo, paciência e compreensão.
- A meus pais Artimimo e Ana (in memorian), meus irmãos Luis carlos e Maria oliveira, formadores do meu caráter.
- A Deus, por estar presente e dar forças para o término deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>09</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 Considerações Iniciais.....	14
1.2 Importância do Trabalho.....	16
1.3 Definição do Problema.....	16
1.4 Objetivos do Trabalho.....	17
1.4.1 Objetivo geral.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 Estrutura do Trabalho.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 Técnica de Produção.....	19
2.1.1 Filosofia JIT/TQC.....	19
2.1.2 Sistema de produção convencional <i>versus</i> sistema de produção JIT.....	21
2.1.3 Sistema de produção convencional.....	21
2.1.4 Sistema de produção JIT.....	21
2.2 Produção Focalizada.....	22
2.2.1 Focalização na fabricação repetitivas em lotes.....	23
2.2.2 Focalização nos processos de montagem.....	24
2.3 Células de Manufatura.....	25
2.3.1 Projeto de células manuais de manufatura e de montagem.....	26

2.3.2 Formato das células de manufatura.....	28
2.3.3 Flexibilidade no projeto da célula.....	29
<b>2.4 Troca Rápida de Ferramentas – SETUP .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5 Balanceamento da Produção.....</b>	<b>30</b>
<b>2.6 Sistema Produtivo de Manufatura Integrada (SPMI).....</b>	<b>31</b>
2.6.1 Dez passos para a implantação de sistemas produtivos de manufatura integrada (SPMI).....	31
<b>2.7 Avaliação das Células de Manufatura em Funcionamento.....</b>	<b>33</b>
<b>2.8 Layout Industrial.....</b>	<b>33</b>
2.8.1 Planejamento do <i>layout</i> : sistema SLP.....	34
2.8.2 Os oito passos para o SLP.....	35
2.8.3 Trabalhos desenvolvidos na área de <i>layout</i> .....	38
2.8.4 Integrando <i>layout</i> com movimentação de materiais.....	38
2.8.5 Vantagem do <i>layout</i> celular versus <i>layout</i> funcional.....	38
2.8.6 Melhorias de <i>layout</i> em uma célula de montagem.....	39
<b>2.9 Simulação.....</b>	<b>40</b>
2.9.1 Definição de simulação.....	41
2.9.2 Vantagem e desvantagem da simulação.....	41
2.9.3 Etapas de um projeto de simulação.....	42
2.9.4 Artigos recentes na área de simulação.....	43
2.9.5 <i>Softwares</i> de simulação para instalações de produção.....	43

2.9.6 <i>Softwares</i> para simulação de <i>layouts</i> industriais.....	43
2.9.7 A Simulação no futuro.....	43
2.9.8 A Fábrica do futuro.....	44
<b>2.10 Considerações.....</b>	<b>45</b>
<b>3. MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2 Etapa 1-Preparação para Implantação.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3 Etapa 2- Diagnóstico da Produção (Coleta de Dados).....</b>	<b>49</b>
3.3.1 Definição de objetivos.....	50
3.3.2 Medidas de desempenho.....	51
<b>3.4 Etapa 3- Formação de Células de Produção e de Montagem.....</b>	<b>53</b>
3.4.1 Tecnologia de grupo.....	53
3.4.2 Formato das células de manufatura .....	54
3.4.3 Restrições aos agrupamentos.....	55
<b>3.5 Etapa 4- Criação do Novo <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>55</b>
3.5.1 Passos para criação do <i>layout</i> .....	56
<b>3.6 Etapa 5- Cálculo da Eficiência do <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>56</b>
3.6.1 Etapas de um projeto de simulação.....	57
3.6.2 <i>Software</i> Arena®.....	57
3.6.3 Dados iniciais de entrada.....	58
<b>3.7 Etapa 6- Balancear Células.....</b>	<b>58</b>

3.7.1 Balanceamento de uma linha de produção.....	58
<b>3.8 Etapa 7- Avaliação da Mudança - A Simulação do <i>Layout</i> Alcançou os</b>	
<b>Objetivos Propostos.....</b>	<b>60</b>
<b>3.9 Etapa 8- Implantação do Novo <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>61</b>
<b>3.10 Etapa 9- Manutenção e Melhorias.....</b>	<b>61</b>
<b>3.11 Considerações .....</b>	<b>62</b>
<b>4. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Apresentação da Empresa.....</b>	<b>63</b>
4.1.1 O processo produtivo.....	63
4.1.2 Novas tecnologias.....	66
<b>4.2 Aplicação do Modelo Proposto.....</b>	<b>67</b>
<b>4.3 Etapa 1- Preparação para Implantação.....</b>	<b>67</b>
<b>4.4 Etapa 2- Diagnóstico da Produção (Coletas de Dados).....</b>	<b>67</b>
4.4.1 Recursos.....	68
4.4.2 Definição dos objetivos.....	68
4.4.3 Cálculo da medida de desempenho para o processo atual.....	68
<b>4.5 Etapa 3 - Formação de Células de Produção e de Montagem.....</b>	<b>77</b>
4.5.1 Os Produtos escolhidos para estudo.....	77
4.5.2 Diagrama P-Q.....	79
<b>4.6 Etapa 4- Criação do Novo <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>81</b>
4.6.1 Restrições aos agrupamentos.....	81

4.6.2 Célula do módulo de elevador.....	81
4.6.3 Célula da caçamba.....	82
<b>4.7 Etapa 5 – Cálculo da Eficiência do <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>83</b>
4.7.1 Simulação do <i>layout</i> atual.....	83
4.7.2 Dados iniciais dos parâmetros do modelo.....	86
4.7.3 Cálculo da medida de desempenho para o processo proposto .....	90
4.7.4 Análise de resultados.....	91
<b>4.8 Etapa 6 - Balanceamento de Células.....</b>	<b>92</b>
<b>4.9 Etapa 7 - Escolha do novo <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>92</b>
4.9.1 Passos para escolha do novo <i>layout</i> celular.....	93
<b>4.10 Etapa 8 - Implantação do Novo <i>Layout</i> Celular.....</b>	<b>93</b>
<b>4.11 Etapa 9 - Manutenção e Melhorias.....</b>	<b>96</b>
<b>4.12 Considerações .....</b>	<b>97</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
5.1 Conclusões.....	98
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	100
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 1 - Roteiro de Fabricação.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO 2- O Código fonte em SIMAN processo atual.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 3- Relatório de simulação atual.....</b>	<b>115</b>



**ANEXO 4- O código fonte em SIMAN processo proposto.....118**

**ANEXO 5 – Relatório de simulação proposto.....122**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Conceitos e técnicas da filosofia JIT/TQC.....	20
Figura 2.2 Formato U ou em serpentina.....	24
Figura 2.3 Pequena célula operada com quatro máquinas e um operador.....	25
Figura 2.4 Célula de manufatura manual para uma família de peças com sete máquinas operadas por um trabalhador.....	27
Figura 2.5 <i>Layout</i> funcional versus célula de manufatura.....	29
Figura 2.6 Diagrama DE-PARA.....	35
Figura 2.7 Intensidade do fluxo de materiais.....	36
Figura 2.8 Diagrama de inter – relações.....	37
Figura 3.1 Fluxograma do modelo proposto.....	47
Figura 3.2 Cronograma de implantação.....	49
Figura 3.3 Tabela dos itens do levantamento.....	50
Figura 3.4 Matriz de incidência peça / máquina.....	54
Figura 3.5 Formato da célula.....	55
Figura 4.1 Layout atual da fábrica.....	65
Figura 4.2 Cronograma de implantação.....	67
Figura 4.3 Taxa de ocupação das máquinas.....	69
Figura 4.4 Quantidade produzida ano 2001.....	70
Figura 4.5 Demanda mensal de módulos de elevadores.....	71
Figura 4.6 Demanda mensal de caçambas.....	71

Figura 4.7 Tempos de fabricação do módulo de elevador.....	72
Figura 4.8 Layout com fluxo de materiais do módulo de elevador.....	73
Figura 4.9 Layout com fluxo de materiais da caçamba.....	74
Figura 4.10 Fluxo de materiais do módulo de elevador.....	75
Figura 4.11 Fluxo de materiais da caçamba.....	75
Figura 4.12 Tempo de fabricação e setup para o módulo EI 6018.....	76
Figura 4.13 Tempo de fabricação e setup por unidade para caçamba .....	76
Figura 4.14 Estrutura do elevador 6018.....	78
Figura 4.15 Produção anual/mensal dos elevadores fabricados pela pagé.....	78
Figura 4.16 Estrutura principal dos elevadores.....	79
Figura 4.17 Quantidades anuais de itens fabricados para análise.....	80
Figura 4.18 Formação da célula 1 e 2.....	80
Figura 4.19 Célula do módulo de elevador e caçamba.....	82
Figura 4.20 Histograma dos dados do arquivo módulo EL 6018.....	84
Figura 4.21 Simulação do processo atual da célula do elevador.....	85
Figura 4.22 Grupo de máquinas célula 1.....	87
Figura 4.23 Grupo de máquinas célula 2.....	87
Figura 4.24 Layout proposto da célula do módulo de elevador com animação.....	89
Figura 4.25 Simulação do processo proposto da célula do módulo elevador.....	90
Figura 4.26 Taxa de ocupação das máquinas.....	91
Figura 4.27 Fotos (A) da prensa hidráulica e foto (B) do módulo.....	94

Figura 4.28 Fotos (C) dispositivos de montagem e (D) detalhe cilindro.....	94
Figura 4.29 Fotos do módulo semi-pronto (E) e pronto (F).....	95
Figura 4.30 Fotos da prensa hidráulica (G) dispositivo (H).....	96

## RESUMO

SILVA, Valdir Oliveira. **Um Modelo para Avaliação e Implantação da Mudança de um Sistema de Produção Convencional para Manufatura Celular Empregando Simulação Discreta.** Florianópolis, 2003. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

Este trabalho apresenta um modelo para avaliação e implantação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular empregando simulação discreta. Usa-se a tecnologia de grupo como forma de criar as famílias de produtos. Analisam-se alternativas de *layout* celular para servir de base para a execução do modelo. Utiliza-se a simulação computacional como ferramenta de análise capaz de mensurar quantitativamente as mudanças introduzidas no sistema. Apresenta-se um estudo de caso de uma empresa metal-mecânica situada no sul de Santa Catarina. A partir da análise dos resultados e das conclusões efetuadas é possível ter-se uma idéia clara das vantagens obtidas em se migrar para um sistema de produção com células de manufatura, tais como: maior produtividade, menor tamanho do lote, menor *lead time*, melhor taxa de utilização do espaço físico e operadores mais polivalentes.

Palavras-chave: **Células de Manufatura, Layout, Simulação.**

## **ABSTRACT**

SILVA, Valdir Oliveira. **A Model for Evaluation and Implantation of the Change of a System of Conventional Production for Cellular Manufacture Using Discreet Simulation.** Florianópolis, 2003.124p. Dissertation (Master`s degree in Engineering of Production) – Program of Masters degree in Production Engineering – UFSC.

This work presents a model for evaluation and implantation of the change of a system of conventional production for cellular manufacture using discreet simulation. The group technology is used as forms of creating the families of products. The alternatives of cellular layout to serve as base of the execution of the model, are analyzed. It is used the computer simulation as tool of analysis capable of measuring in numbers, the changes introduced in the system. A study of the case of a metal-mechanics company in the south of Santa Catarina is presented. Starting from the analysis of the obtained results and of the made conclusions it is possible to have a clear ideal of the advantages in if migrating for a production system with cells of manufacture as: bigger productivity, minor batch size, minor lead teams, better more multipurpose tax of utilization of the physical space and operators.

Key words: **Cells of manufacture, Layout, Simulation.**

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

Nas últimas décadas ocorreram mudanças profundas nos sistemas produtivos. A concorrência entre as empresas está cada vez maior, principalmente devido à globalização, à queda das barreiras protecionistas e ao surgimento de novos concorrentes em nível mundial. Para sobreviver a essa situação as empresas têm dado maior importância aos sistemas produtivos, implementando novas metodologias de gestão na busca da redução de seus custos de produção, visando obter vantagem competitiva em relação as demais.

A área de produção que era considerada apenas como um objeto do planejamento operacional, tornou-se importante na elaboração das estratégias empresariais.

A filosofia *Just in Time*(JIT) foi desenvolvida no Japão na década de 60, na *Toyota Motors Company*, tendo como precursores Taiichi Ohno e Shigeo Shingo. Foram desenvolvidas ferramentas operacionais que estivessem fortemente apoiadas em uma ótica e em um foco de melhoria contínua. Este sistema japonês de gerenciar a produção prima essencialmente pelo aumento de produtividade, ligado à melhoria da qualidade de produtos e de serviços.

Os tradicionais sistemas de produção por lote permitem alta flexibilidade de fabricação em termos de variabilidade de produtos e de volume. Costumam lidar com altos estoques de produtos em processos e baixa taxa de utilização das máquinas. Conforme Greenwood (1988), neste tipo de produção alguns estudos estimam que uma peça consome 95% do seu tempo como estoque intermediário ou movendo-se entre as máquinas.

A filosofia JIT/TQC ou produção focalizada, além de melhorar a produtividade e a qualidade, procura eliminar algumas formas de desperdício que não agreguem valor às atividades desenvolvidas.

Segundo Taiichi Ohno (1996), o objetivo definido pela Toyota é a busca total pela eliminação dos desperdícios:

- Desperdício de Superprodução;
- Desperdício de Tempo Disponível (espera);
- Desperdício em Transporte;
- Desperdício do Processamento em Si;
- Desperdício de Estoque Disponível;
- Desperdício de Movimento;
- Desperdício de Produzir Produtos Defeituosos.

Os sistemas de produção *just in time*, com células de manufatura que operam com fabricação repetitiva em lotes, conforme Tubino (1999), comprovadamente apresentam vantagens com relação ao sistema de produção tradicional, no que se refere à produtividade, ao menor estoque em processo, à eficiência, à qualidade, etc.

Para avaliar o impacto dessas mudanças é preciso utilizar uma ferramenta de análise capaz de mensurá-las, quantitativamente, ao serem introduzidas no sistema. Essa ferramenta é a simulação, que pode reduzir os riscos para as empresas nas modificações de *layout*, nas ampliações de fábricas, nas aquisições de máquinas. A simulação pode, ainda, fornecer estimativas confiáveis das conseqüências no desempenho do chão-de-fábrica. Neste contexto, torna-se necessária a criação de um modelo que proporcione às empresas migrarem de um sistema de produção convencional para um sistema de produção com células de manufatura.

O modelo proposto é adequado para processos repetitivos em lotes. Em processos sob encomenda, poder-se-á aplicar naqueles produtos que tiverem maior demanda.

Pretende-se difundir mais a utilização da simulação computacional nas empresas, visando acompanhar as rápidas mudanças nos processos produtivos.



## 1.2. Importância do Trabalho

Este mercado globalizado obriga as empresas a aperfeiçoarem seus sistemas produtivos, buscando técnicas mais modernas de qualidade e de produtividade. Terão maiores condições de sobreviver e crescer aquelas empresas que possuírem maior flexibilidade para se adequarem às mudanças, aplicando técnicas de melhoria contínua de produção e motivando seus funcionários, base maior de toda empresa sólida e com perspectiva de obterem maiores sucessos.

O sistema de produção *just in time* é uma filosofia que tem propiciado a muitas empresas maior eficiência no sistema de manufatura, sendo auxiliada com algumas técnicas, como: *setup*, balanceamento, tecnologia de grupo, manufatura celular, etc.

No Brasil, e também no sul de Santa Catarina, a filosofia *just in time* com células de manufatura e as aplicações de suas ferramentas ainda são pouco utilizadas. Verifica-se a importância de desenvolver um trabalho que auxilie empresas do setor metal-mecânico no sul de Santa Catarina, procurando melhorar seu sistema produtivo, alterando-o para um sistema mais eficiente, que é a manufatura celular. Importante, também, é criar um modelo que as ajude a migrarem gradativamente do seu sistema de produção convencional para um sistema mais eficiente de manufatura celular, utilizando a simulação como ferramenta de análise das melhorias efetuadas.

## 1.3. Definição do Problema

A base dos motivos que levou ao desenvolvimento deste trabalho, pode-se definir dois problemas essenciais a serem tratados, já que são a base para o desenvolvimento deste trabalho:

- Atenta-se para a pouca competitividade industrial da maioria das empresas do setor metal-mecânico do sul de Santa Catarina, operando com sistema produtivo com métodos convencionais de manufatura. Propõe-se alterar gradativamente para um sistema mais eficiente, que é a filosofia *just in time* com células de manufatura. As empresas, no Brasil, que operam com sistema de produção convencional possuem maior dificuldade em diminuir seus custos e tornarem-se competitivas, devido à baixa qualidade de seus produtos, ao alto estoque

intermediário e a não- eficiência de seus tempos de *setups*, transporte e *lead time*,

- Atenta-se, ainda, para a baixa utilização da simulação pelas empresas em Santa Catarina, como uma ferramenta computacional de auxílio, para torná-las mais competitivas. Utilizando a simulação, a empresa pode avaliar quantitativamente as melhorias com o novo sistema produtivo, reduzindo ou eliminando atividades que não agregam valor ao produto. Pode ser usada, também, para viabilização de projetos novos e de reformulação das instalações de processamento industrial.

#### **1.4. Objetivos do Trabalho**

##### **1.4.1. Objetivo Geral**

Propor e implantar um modelo para avaliação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Apresentar a mudança para *layout* celular como forma de melhorar a produtividade;
- Fazer a análise comparativa da produção focalizada em células de manufatura *versus* sistema convencional;
- Desenvolver um modelo de simulação computacional para analisar a implantação do modelo proposto do sistema de produção em uma empresa real;
- Demonstrar a viabilidade de aplicação do modelo proposto em uma empresa metal-mecânica nos itens de fabricação repetitiva em lote.

#### **1.5. Estrutura do Trabalho**

A pesquisa bibliográfica, inserida em uma pesquisa experimental, será a base para a metodologia deste trabalho.

No capítulo 1 desenvolve-se a introdução desta dissertação. Nele estão contidos a importância do trabalho, a definição do problema, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica, cujo texto menciona a filosofia JIT/TQC e sua relação com a produção focalizada. Descreve-se, também, as células de manufatura, seus diversos formatos de *layout* e a tecnologia de grupo. Expõe-se, ainda, o balanceamento de linha, como meio de deixar o sistema mais nivelado. Na etapa seguinte, o *layout* industrial, como forma de planejar a disposição das máquinas, tendo como objetivo minimizar o volume de transporte de materiais. Na parte final comentar-se-á sobre a fábrica do futuro e a simulação como meio de modelar o sistema produtivo.

No capítulo 3 apresenta-se o modelo proposto para, por meio da utilização de uma ferramenta de simulação computacional, realizar um estudo para avaliação e implantação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular.

No capítulo 4 descreve-se um estudo de caso de uma empresa metal-mecânica do sul de Santa Catarina, apresentando a aplicação num cenário real do modelo, utilizando os conceitos teóricos da revisão bibliográfica e direcionando-os para uma estrutura de mudança fundamentada no capítulo 3. Avalia-se quantitativamente os resultados obtidos e realiza-se uma análise comparativa entre o sistema atual e o proposto.

No capítulo 5 apresenta-se as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e teorias obtidas por meio da revisão bibliográfica, tendo como finalidade dar suporte ao modelo para avaliação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular.

Revisam-se conceitos sobre a filosofia *just in time* e suas aplicações, a manufatura celular, os tipos de *layout* e suas formas de cálculos, a simulação como forma de medir quantitativamente as alterações executadas no modelo.

### 2.1 Técnica de Produção

No início da década de 60 surgiu no Japão um novo sistema de produção, desenvolvido na *Toyota Motor Company*, a partir das idéias de Taiichi Ohno, denominado como Sistema *Toyota* de Produção. Conforme Ohno (1988, p.4) “A base do sistema *Toyota* de produção é a absoluta eliminação do desperdício”.

Aos poucos os princípios gerais dessa filosofia foram se consolidando e se difundindo para diversos ramos de fabricação no Japão (década de 60). A partir destas técnicas foram desenvolvidas ferramentas operacionais que estivessem apoiadas em uma ótica e em foco de melhorias contínuas. Surgiu então o *Kanban*, a autonomia, a troca rápida de ferramentas, o controle de qualidade do zero defeito e o *Poka-Yoke*, a tecnologia de grupo e a manufatura celular.

#### 2.1.1 Filosofia JIT/TQC

A filosofia JIT (*Just in Time*) surgiu, no Japão na década de 60. Alguns autores nomeiam a filosofia JIT com diferentes termos: Produção Enxuta, Fabricação Classe Universal (Schonberger, 1988), Excelência na Manufatura (Hall, 1988), Fabricação Superior (Harmon, 1991).

Ohno(1998) definiu que o JIT e a autonomia são os dois pilares para o Sistema *Toyota* de Produção. Para Ohno (1988, p.4) “*Just in time* significa que, no fluxo da produção, os componentes necessários alcançam a linha de montagem no tempo em que são necessários e na quantidade necessária”.

Segundo Tubino (1999), alguns autores apresentam separadamente os conceitos JIT (*Just in Time*) e TQC (Controle Total da Qualidade). O JIT seria visto como uma filosofia voltada para a otimização da produção, enquanto o TQC seria uma filosofia voltada para a identificação, a análise e a solução de problemas. Porém, não parece conveniente separar JIT/TQC, pois ambos possuem interfaces comuns. A figura 2.1 mostra um quadro comparativo entre os conceitos e técnicas da filosofia JIT/TQC.

A filosofia JIT/TQC tem como objetivo, também:

- Satisfazer as necessidades do cliente;
- Eliminar desperdício;
- Melhorar continuamente;
- Envolver totalmente as pessoas.

JIT	TQC
Produção focalizada	Produção orientada pelo cliente
Produção puxada	Lucro pelo domínio da qualidade
Nivelamento da produção	Priorizar as ações
Reduções de <i>lead times</i>	Agir com base em fator
Fabricação de pequenos lotes	Controle do processo
Redução de <i>setups</i>	Responsabilidade na fonte
Manutenção preventiva	Controle á montante
Polivalência	Operações a prova de falhas
Integração interna e externa	Padronização

Figura 2.1 Conceitos e técnicas da filosofia JIT/TQC. (TUBINO, 1999,p.27)

Segundo Lubben (1989), a intenção da filosofia JIT é obter um processo de manufatura que atenda seus objetivos usando o mínimo de recursos (materiais, mão-de-obra, equipamentos, espaço, tempo e energia).

A filosofia JIT tem como objetivo fundamental melhorar continuamente a produtividade, procurando flexibilidade, simplicidade nos processos e eliminação de

todas as formas de desperdício que não agreguem valor às atividades desenvolvidas. O JIT tem como estratégia de produção a redução dos estoques em níveis mínimos, por meio da produção no momento certo e na quantidade certa. Com isso, permite-se uma rápida percepção e busca de solução (melhoramento contínuo) para os problemas que ocorrem no chão de fábrica.

### **2.1.2 Sistema de Produção Convencional *versus* Sistema de Produção JIT**

Para mostrar as diferenças básicas dos sistemas de produção, dispõe-se, a seguir, os pontos principais entre o sistema de produção convencional e o sistema de produção JIT.

### **2.1.3 Sistema de Produção Convencional**

- O *layout* é do tipo departamental, sendo as máquinas agrupadas por processo;
- Fabricação em grandes lotes;
- Devido à falta de balanceamento das capacidades produtivas, há formação de estoques entre as operações (*Work-In-Process-WIP*);
- Trabalhadores especializados em determinadas funções;
- Existem estoques protetores (*buffers*) entre os pontos de trabalho.

### **2.1.4 Sistema de Produção JIT**

- A fábrica é dividida em "minifábricas" com famílias de produtos;
- O *layout* dentro da minifábrica é do tipo celular;
- Operadores polivalentes, executando operações sincronizadas;
- A produção é do tipo "puxada".

Conforme Tubino (1999, p.71):

Os sistemas de produção JIT buscam continuamente o aumento de flexibilidade, seja pela forma estrutural de distribuição dos recursos em unidades de negócios focalizadas, com células de fabricação e montagem operadas por funcionários polivalentes, seja pela diminuição dos lotes de produção a partir da redução dos tempos de *setup* e eliminação das atividades que não agregam valor aos produtos.

## 2.2 Produção Focalizada

A produção focalizada é um sistema de produção que visa fazer com que cada produto ou família de produtos possa ser tratado como um negócio específico, com suas características produtivas e mercadológicas próprias. Essa produção reorganiza a fábrica em pequenas unidades produtivas mais simples e ágeis.

Pelo sistema tradicional há um crescimento desorganizado da empresa, com alto estoque em processos, grandes lotes de fabricação. Com a produção focalizada haveria a criação de novas unidades de negócios focalizados. Segundo Mondem (1984), para resultados superiores a reorganização das fábricas existentes em múltiplas e menores fábricas dentro de uma fábrica constitui o mais importante aspecto individual para aumentar a produtividade.

De acordo com Chase (1989), ao invés de se construir uma grande estrutura de produção que faça tudo (empresa verticalizada), os japoneses construíram pequenas plantas especializadas.

Segundo Harmon e Peterson (1991), uma fábrica focalizada possui as seguintes vantagens na busca pelos princípios da filosofia JIT/TQC:

- Domínio do processo produtivo: por ser uma fábrica pequena as comunicações fluem mais facilmente, permitindo que cada gerente, cada supervisor e cada funcionário conheçam todos os aspectos importantes da fabricação dos produtos;
- Gerência junto à produção: com o enxugamento dos níveis hierárquicos pela redução da complexidade dos processos, a gerência pode ficar localizada próxima ao chão de fábrica, aumentando a velocidade de resposta na tomada de decisões;
- *Staff* reduzido e exclusivo: o pessoal de apoio pode ficar junto ao local onde presta o serviço, especializando-se em suas tarefas;
- Estímulo à polivalência de funções: em fábricas pequenas, tanto as funções produtivas como as de apoio são executadas por um número menor de pessoas, induzindo ao conceito de funcionário polivalente. Isso permite o uso efetivo do

conceito de círculos de controle de qualidade (CCQ) e de remuneração variável pelo desempenho do grupo.

Por serem técnicas de origem oriental, situações simples de chão de fábrica podem ser criadas para aumentar a produtividade, como apresenta Shingo (1996) um exemplo de uma indústria metalúrgica que, no sentido de buscar um balanceamento em fluxo unitário de produção para as peças, substitui as convencionais cabines de pintura de grande porte por pequenas caixas de um metro cúbico de volume com dispositivos de pintura em *spray*, posicionadas dentro da linha, imediatamente após a furação e o rosqueamento das peças. Ganhos significativos foram alcançados não só em termos de eliminação do transporte e armazenagem intermediária das peças, como principalmente pela eliminação da insalubridade.

### **2.2.1 Focalização na Fabricação Repetitiva em Lotes**

Conforme Tubino (1999), o crescimento desorganizado das empresas que trabalham com processos de fabricação repetitiva em lotes, produzindo peças para as linhas de montagem ou vendendo-as como produtos acabados, fez com que as mesmas desenvolvessem seus *layouts* produtivos de forma departamental ou por processo. A escolha pelo *layout* departamental levou a uma série de desperdícios como: superprodução, espera, movimentação, transporte, processamento e estoques.

Como forma de eliminar ou, pelo menos, reduzir esses desperdícios, precisa-se agrupar as máquinas por produto, focalizando-as em um produto ou em uma família de produtos, ou seja, utilizar o *layout* celular.

Os tempos de fabricação são reduzidos pela adoção do *layout* celular, pelos seguintes motivos:

- Tempo de espera na fila: é eliminado pela disposição adequada das máquinas, segundo o roteiro de fabricação do item e pela produção;
- Tempo de *setup*: o simples fato de organizar o fluxo de produção por item ou por famílias, evita os *setups* para o processamento de itens diferentes;



- Tempo de processamento: com a redução dos tempos de *setups*, pelo *layout* celular, pode-se diminuir economicamente o tamanho dos lotes de fabricação;
- Tempo de movimentação: a aproximação das máquinas, com o *layout* celular, faz com que as distâncias entre elas sejam mínimas.

### 2.2.2 Focalização nos Processos de Montagem

Nos processos de montagem fica mais fácil a aplicação dos conceitos que aludem para a focalização da produção a linhas de produtos padronizados. O *layout* procura facilitar o fluxo, sendo os estoques colocados próximos ao local de uso. Reduzindo os *buffers*, portanto, haverá redução de espaço físico e tamanho de lotes, o que aproximará os operários.

Geralmente, as linhas de montagem no sistema convencional são de forma retilínea. A proposta da produção é fazer com que o *layout* da fábrica seja em formato de “L” ou “U” para as pequenas linhas (de 2 a 8 posições) e em formato serpentina para linhas maiores, conforme figura 2.2 mostrada a seguir.

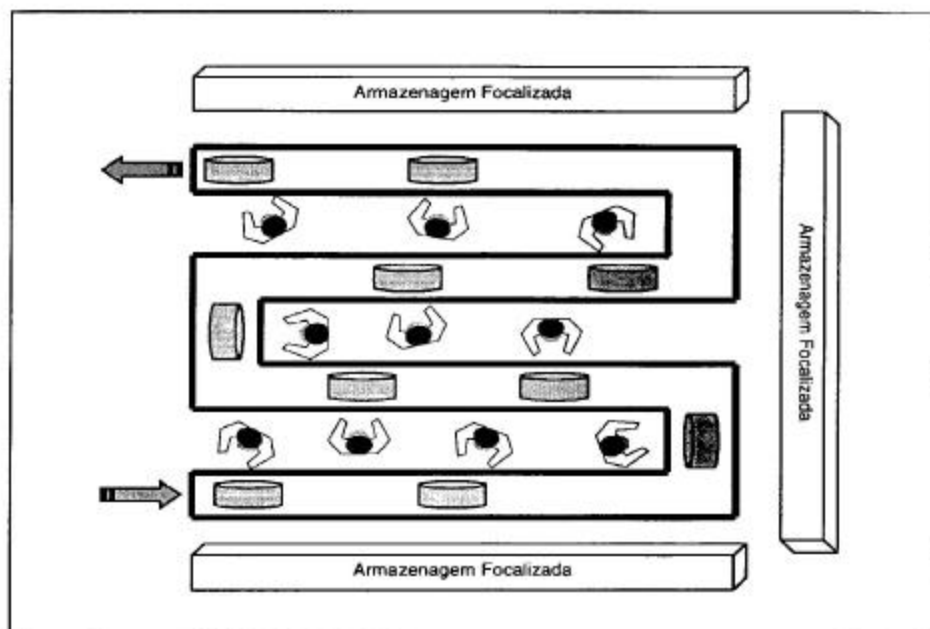


Figura 2.2.Formato U ou em serpentina. (TUBINO, 1999, p.60)

## 2.3 Células de Manufatura

As células de manufatura são conjuntos de máquinas agrupadas com funções diferentes para executar a produção de componentes ou família de peças.

Conforme Lopes (1999, p.17):

As células de manufatura exercem papel fundamental, pois focalizam a manufatura sobre famílias de peças, onde as informações e as oportunidades de melhoria aumentam bastante com a aproximação das máquinas e a criação do conceito de cliente/fornecedor entre os operadores adjacentes, dentro e fora da célula.

Sobre este assunto Souza (1999, p.25) afirma que: “As células de manufatura foram criadas para conseguir a eficiência de uma linha de produção, porém com possibilidade de fabricar peças diferentes, dentro de uma mesma família”.

Um operador pode controlar várias máquinas, conforme mostra a figura 2.3

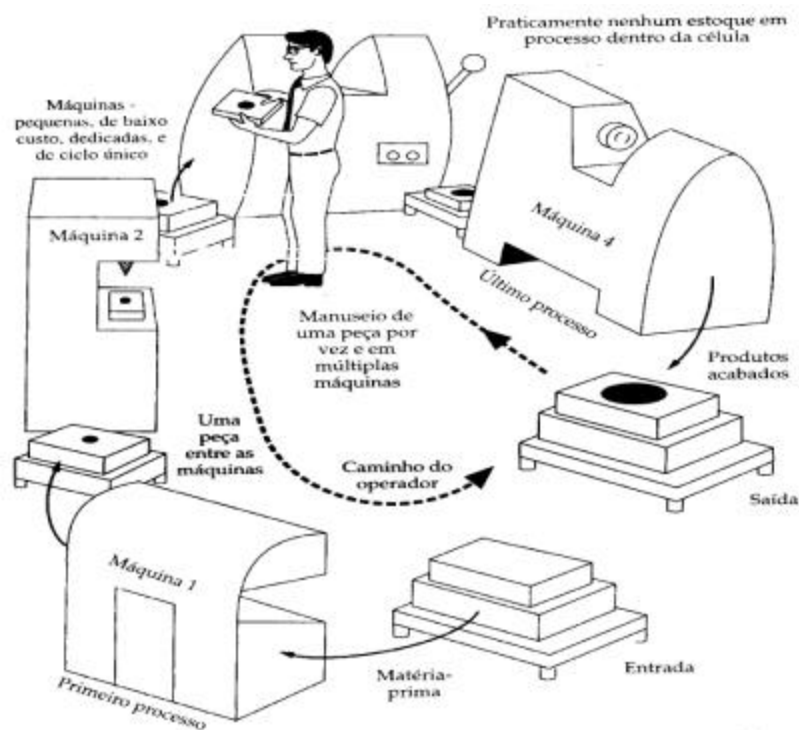


Figura 2.3 Pequena célula operada com quatro máquinas e um operador.(BLACK,1998, p.64).

Segundo Rajamani (1990), tecnologia de grupo é uma técnica de manufatura que agrupa atividades similares. A tecnologia de grupo envolve grupos de processamentos de peças similares (família de peças) em um setor dedicado com máquinas de processos diferentes.

Os métodos empregados pela tecnologia de grupo dividem-se em quatro grupos básicos para definição das famílias, de acordo com Lorini (1993):

- Inspeção visual: identifica família de itens pela análise visual de suas características;
- Análise de fluxo de produção (PFA): procura agrupar os itens levando em consideração os seus roteiros de fabricação ou fluxo de produção;
- Classificação por código: tem por objetivo desenvolver um sistema de código de maneira que permita codificar os itens por atributos de projeto, de processos ou de ambos;
- Reconhecimento de padrões: busca estabelecer algumas características geométricas ou tecnológicas, de forma padrão, para serem comparadas com as características dos itens que se pretende agrupar.

### **2.3.1 Projeto de Células Manuais de Manufatura e de Montagem**

O bloco básico de construção é a célula de manufatura, na qual são agrupados de acordo com os processos e as operações necessárias para fabricar um grupo ou uma família de peças ou produtos.

Em artigo publicado na revista Máquinas e Metais (2000, p.82), os autores Maestrelli e Batocchio afirmam que:

Identificar os agrupamentos que definirão peças a serem produzidas e as respectivas máquinas com que terão relações de similaridade, escolher e dimensionar os equipamentos e estudar as condições de balanceamento de cada célula são as etapas críticas de um projeto de células de manufatura.

Na figura 2.4 apresenta-se uma célula de manufatura para uma família de peças

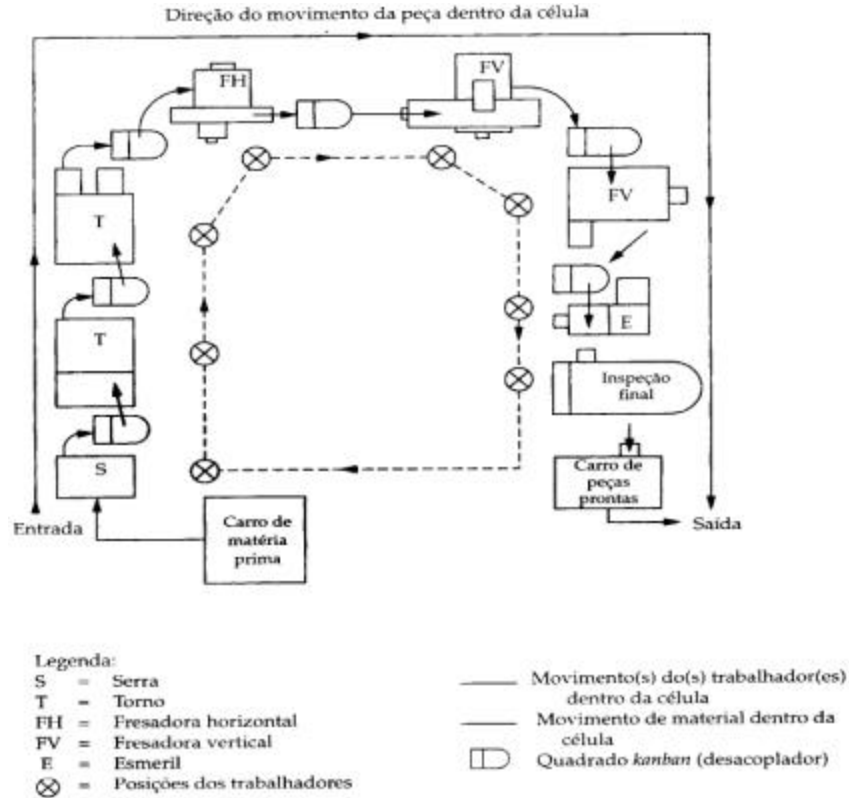


Figura 2.4 Célula de manufatura manual para uma família de peças com sete máquinas operadas por um trabalhador. (BLACK, 1998, p.92).

As peças movem-se pela célula uma por vez, contudo, a célula é projetada para ser flexível, conforme mostra a figura 2.4 acima. Ela é, normalmente, arranjada em forma de “U”. A célula é composta por todos os processos para a fabricação completa de um componente ou peça.

O primeiro passo para formar células é reestruturar partes do *layout* funcional, convertendo-o em estágios para células manuais.

Linhas de montagem e de produção dentro da planta são também reprojatadas para fazerem estes sistemas operarem como células. Longos tempos de *setup*, típicos de *layout* em linha, devem ser reduzidos para que as linhas de produção possam ser rapidamente trocadas de manufatura de um produto para outro.

### 2.3.2 Formato das Células de Manufatura

Para organizar a fábrica em pequenas unidades produtivas mais simples e ágeis há que se observar tipos de processos utilizados na empresa.

As células de manufatura podem ser representadas de alguns tipos:

Máquina célula: é composta por uma única máquina com capacidade de produção elevada, sendo colocada em um arranjo com outras máquinas;

Célula em “U”: diversas máquinas agrupadas em formato de “U” de acordo com a seqüência de um determinado processo. Os trabalhadores podem operar mais de uma máquina durante o ciclo de fabricação de uma peça ou família de peças;

Célula em “L”: diversas máquinas agrupadas em formato de “L” ou linha de montagem voltadas para a garantia da quantidade;

Célula em linha: máquinas interligadas por transporte automático de peças, em que as peças, todas com processamento semelhante, passam por todas as máquinas do agrupamento;

Célula em serpentina: usado em linhas de montagem maiores que 8 posições;

Célula em *loop*: máquinas interligadas por transporte automático de peças, em que as peças, com algumas etapas do processo diferentes, não passam por todas as máquinas do agrupamento.

Vakharia (1990) identifica vários outros objetivos e restrições que têm importância quando células de manufatura são criadas:

Independência de células: células completamente independentes (isto é, seqüências de peças que não passam em múltiplas células);

Flexibilidade da célula: para o problema da formação de células, a flexibilidade relacionada à habilidade de processar peças em máquinas alternativas dentro de uma célula, a capacidade de enviar peças para células alternativas e a capacidade das células processarem novas peças são as mais importantes funções;

*Layout* entre as células: quando a independência das células não é completa, as peças mover-se-ão entre elas;

*Layout* da célula: o *layout* interno da célula é outro fator que afeta as distâncias de movimentação e os padrões de fluxo de materiais, e é de fácil controle. A figura 2.5 mostra a alteração de um *layout* convencional para um celular.

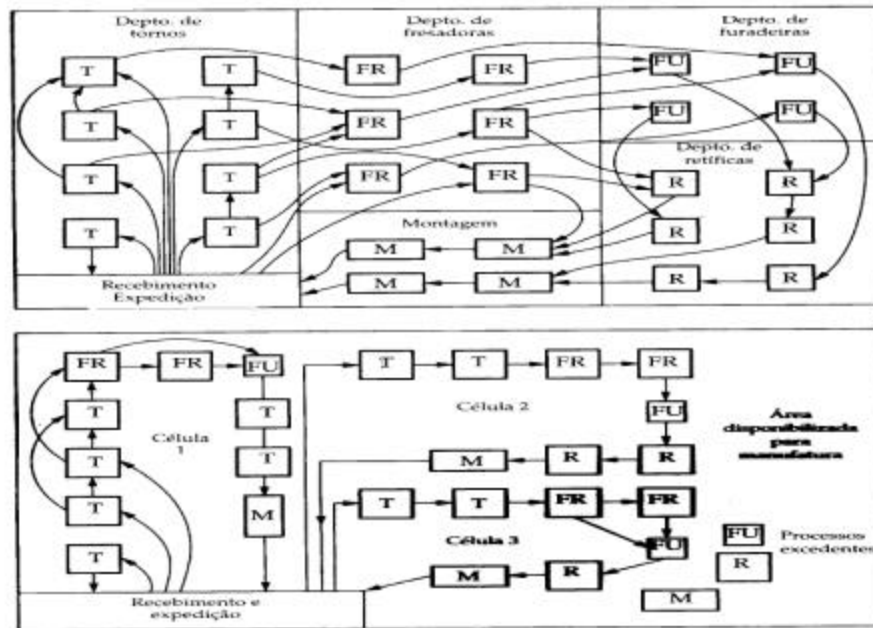


Figura 2.5 *Layout* funcional versus células de manufatura. (BLACK, 1998, p.55).

### 2.3.3 Flexibilidade no Projeto da Célula

Conforme Black (1998) o ponto-chave de um projeto funcional para uma célula de manufatura de montagem é a flexibilidade.

O equipamento no chão de fábrica deve ser facilmente reposicionado de maneira a reestruturar e reposicionar as células dentro da fábrica. Conexões de energia, de água e de ar, devem ser posicionadas em dutos elevados para facilitar o acesso. As máquinas não devem ser chumbadas ou presas no chão, a não ser que seja absolutamente necessário.

### 2.4 Troca Rápida de Ferramentas – Setup

Para uma boa eficiência do sistema JIT, é necessário implantar a troca rápida de ferramentas, obtendo assim pequenos lotes de fabricação. A troca rápida de

ferramentas foi desenvolvida por Shingo na década de 70, após vários anos de experiências em empresas japonesas, em especial na *Toyota Motors*, onde conseguiu transformar *setups* de prensas, que passaram do consumo de duas horas para três minutos.

Conforme Black (1998, p.123):

Todos trabalhadores devem ser envolvidos e treinados na metodologia de redução de *setup* (isto é, SMED – *Single Minute Exchange of Dies* – Troca de Ferramentas Abaixo de Dez Minutos). Tais ações podem atingir grandes resultados na redução do tempo de *setup* (perda).

Para Chase (1989), a abordagem japonesa de produtividade tem como requisito pequenos lotes na produção. Isto é impossível de se fazer se os tempos de *setup* levam horas. A troca rápida de ferramentas, mais que uma técnica, é um conceito que requer alterações nas atitudes de todo o pessoal da fábrica. Monden (1984) especifica que nas fábricas japonesas a educação do tempo de troca de ferramentas é implantada pela ação de pequenos grupos de operários, sejam “clientes de qualidade” ou “zero defeitos”, que lhes capacita a enfrentar desafios similares em outras áreas da fábrica.

## **2.5 Balanceamento da Produção**

Conforme Tubino (1999), um ponto importante na focalização da produção diz respeito a quanto do processo produtivo pode ser efetivamente organizado por produto dentro de uma estrutura verticalizada. Esta questão está ligada ao balanceamento entre a capacidade de recursos e a demanda esperada pelos produtos que utilizam esses recursos. Em fábricas novas, esse balanceamento pode ser alcançado com um projeto voltado para o equilíbrio dos recursos produtivos, com a demanda negociada com clientes.

O balanceamento das quantidades e dos tipos é chamado de “Uniformização da Carga”, no sistema *Toyota*. A uniformização da carga do sistema de produção é o principal fator para eliminação do desperdício.

Balancear refere-se a igualar o tempo. Nivelar refere-se a igualar a quantidade de material em relação ao tempo. Nivelar é também chamado de suavizar a produção.

Todas as áreas de fabricação deveriam ser conectadas ao tempo de ciclo necessário para a montagem final. Anoção de que não há mais áreas de estoque no chão de fábrica é, entretanto, incorreta. A idéia é minimizar o material nessas áreas de estoque. O melhor lugar para uma área de estoque mínimo é próximo do lugar de uso, e perto o suficiente da área de produção, para que os operadores tenham um sinal visual do consumo de peças.

Apresenta-se a seguir os dez passos para a implantação de sistemas produtivos de manufatura integrada (SPMI), proposto por Black (1998), em que ele parte de conhecimentos historicamente desenvolvidos na *Toyota Motors Company*. Este sistema mostra alguns passos que são assuntos de estudo deste trabalho.

## **2.6 Sistema Produtivo de Manufatura Integrada (SPMI)**

A estratégia envolve a produção *Justin in time* (JIT), redução de *setup* e o método de controle de produção puxada (Sistema *Kanban*).

### **2.6.1 Dez Passos para a Implantação de Sistemas Produtivos de Manufatura Integrada (SPMI).**

O motor operacional do SPMI é “reduzir custo eliminando perdas”. Essas perdas são vistas como qualquer coisa que não agregam valor e qualidade ao produto.

- 1- Formar as células - criar células de produção é o primeiro passo para projetar um sistema produtivo em que controles de produção são partes integrantes. A célula é um grupo de processos projetados para fabricar uma certa família de produtos de uma forma flexível. Os trabalhadores das células são multi funcionários: podem realizar mais de um processo;
- 2- Implementar um sistema de troca rápida de ferramentas (TRF) - troca rápida de ferramentas para reduzir ou eliminar a preparação (*SETUP*). O tempo para trocar os produtos dentro da célula deve ser o menor possível;
- 3- Integrar o controle de qualidade - as células desenvolvem um ambiente propício ao controle de qualidade. O sistema peça a peça dentro da célula significa fazer uma peça, verificá-la e passá-la adiante;



- 4- Integrar manutenção preventiva/confiabilidade do equipamento – propõe integração de manutenção preventiva dando aos operadores treinamento e ferramentas adequadas para realizar a manutenção. Para manter o chão de fábrica seguro, duas regras do *Housekeeping* devem ser aplicadas:
  - 1- Possuir um local correto para cada coisa e colocá-las nos seus devidos lugares, para que estejam prontas para uso na próxima vez;
  - 2- Cada trabalhador é responsável pela limpeza do equipamento e do posto de trabalho.
- 5- Nivelar e balancear a montagem final - todo sistema produtivo é nivelado e balanceado pela produção em pequenos lotes, para reduzir o choque da mudança;
- 6- Integrar o controle de produção – Conectar as células via *Kanbans* - ligar as células entre si integra o controle de produção. Os processos subsequentes ditam o ritmo de produção dos processos precedentes. Somente a montagem final é programada;
- 7- Reduzir estoques em processos - a integração do controle de estoques no sistema reduz de forma sistemática o tamanho dos lotes e os estoques em processos. O sistema usa o controle (redução) de estoques para expor os problemas ao invés de usar altos estoques para se proteger de problemas;
- 8- Montar programas de fornecimento (fornecedores) - o último passo da conversão é educar e encorajar os fornecedores da empresa SPMI a desenvolverem sistemas produtivos de qualidade superior e com baixo custo.

Os dois últimos passos são : 9 (Automatizar) e 10 (Informatizar).

O verdadeiro segredo do SPMI está em projetar um sistema fabril simplificado, em que todos entendam como ele funciona, como ele é controlado e onde a tomada de decisão é realizada no nível correto. Os pontos-chave são:

1. Máquinas são dispostas na sequência do processo;
2. A célula é projetada em forma de “U”;

3. Uma peça de cada vez é feita dentro da célula;
4. Os trabalhadores são treinados para lidar com mais de um processo;
5. O tempo de ciclo para o sistema dita a taxa de produção para a célula;
6. Os operadores trabalham de pé e caminhando;
7. São usadas máquinas mais lentas e específicas, que são menores e baratas.

## **2.7 Avaliação das Células de Manufatura em Funcionamento**

Poucos estudos fazem uma avaliação de desempenho. Identificar os agrupamentos que definirão peças a serem produzidas e as respectivas máquinas em que terão relações de similaridade, escolher e dimensionar os equipamentos e estudar as condições de balanceamento de cada célula são as etapas críticas de um projeto de células de manufatura. O resultado dessas fases tem influência direta sobre o desempenho.

Em artigo publicado na revista *Máquinas & Metais* (janeiro/2000), de autoria dos professores Nelson Maestrelli e Antônio Batocchio (Unimep/Unicamp), sobre a Avaliação das Células de Manufatura em Funcionamento, são identificadas e agrupadas peças e máquinas que terão relação de similaridade. Ele mostra a eficiência dos agrupamentos e análises dos resultados.

Uma célula é representada utilizando matrizes de incidência peças x máquinas, em que MI é a matriz de incidência.

A célula formada pelas máquinas M1, M2, M3 e M4 processa a família de peças formada pelas peças P1, P2, P3 e P4 e M5, M6 e M7 processa as peças P5, P6, P7, P8 e P9.

Este artigo mostra a formação da célula, a partir da matriz de incidência peça x máquina, que será usado no modelo para formação da célula de manufatura.

A seguir, será detalhado o layout industrial como forma de planejar a disposição das máquinas, sendo utilizado no modelo proposto para definir o melhor layout.

## **2.8 Layout Industrial**

O *layout* também conhecido como arranjo físico ou planejamento das instalações, tem por objetivo planejar a disposição das máquinas, dos equipamentos e dos

serviços de suporte de uma determinada área, minimizando o volume de transporte de materiais no fluxo produtivo. Em vez de ficar movimentando máquinas ou equipamentos numa área, rearranjando-os até conseguir a melhor situação, é mais fácil movimentar modelos sobre uma folha de papel.

Borba (1998, p.4) afirma que:

O arranjo físico (layout) procura uma combinação ótima das instalações industriais e de tudo que concorre para a produção, dentro de um espaço disponível. Visa harmonizar e integrar equipamento, mão de obra, material, áreas de movimentação e estocagem.

Continua o autor afirmando “....de forma a permitir o máximo rendimento dos fatores de produção, através da menor distância e no menor tempo possível”.

Apresenta-se o método de Muther. Ele juntou as diversas ferramentas utilizadas por engenheiros industriais num só sistema, apresentando uma seqüência direta de procedimento, na solução de *layout*.

### **2.8.1 Planejamento do *Layout*: Sistema SLP**

O sistema SLP (*Systematic Layout Planning*) apresentado por Muther (1978), é uma sistematização de projetos de arranjo físico.

Conforme Muther (1978, p.7):

O sistema SLP é uma sistematização de projetos de arranjo físico. Consiste de uma estruturação de fases, de um modelo de procedimentos e de uma série de convenções para identificação, avaliação e visualização dos elementos e das áreas envolvidas no planejamento.

Base para o planejamento do *layout*

P - produto (material);

Q - quantidade (volume);

R - roteiro (seqüência do roteiro de fabricação);

S - serviços de suporte;

T - tempo.

Todo arranjo físico se baseia em três conceitos fundamentais:

- 1- Inter-relações – grau relativo de proximidade entre as atividades;
- 2- Espaço – quantidade, tipo e forma ou configuração dos itens posicionados;
- 3- Ajuste – arranjo das áreas e equipamentos da melhor maneira possível.

Muther (1978) usou como base de seu método a priorização dos fluxos de materiais entre os diversos setores da empresa, tentando obter a melhor seqüência de movimentação de materiais, permitindo que este se movimente progressivamente, sem retornos, sem desvios, sem cruzamentos.

### 2.8.2 Os Oito Passos para o SLP

A seguir, os oito passos para gerar as alternativas da escolha do melhor *layout*.

- 1- Levantamento do fluxo de processos e das quantidades transportadas entre setores produtivos, serviços de suporte, etc;
- 2- Elaboração do diagrama DE – PARA, baseado no fluxo de materiais obtido no item 1, mostra as quantidades movimentadas entre setores. A quantidade colocada em cada célula do diagrama DE – PARA (figura 2.6) deve ser aquela que melhor reflete o fluxo de materiais entre os dois setores;

De \ Para						
	Cortar	Entalhar	Estirar	Furar	Dobrar	Aplainar
1	1	ABC 3	—	EF 2	—	—
2	—	—	BD 2	AC 2	—	—
3	—	—	—	—	BD 4	C 1
4	—	—	CE 3	—	A 1	—
5	—	—	—	—	—	BD 3
6	—	—	—	—	—	—

Figura 2.6 Diagrama DE- PARA. (MUTHER, 1978, p.29).

- 3- Diagrama da intensidade de fluxo – a análise de fluxo é feita para coordenar as inter-relações entre operações ou atividades.

O diagrama de intensidade de fluxo (figura 2.7) auxilia a visualização das intensidades de fluxo mais importantes e possibilita sua classificação, seguindo uma ordem de prioridade. A classificação de conveniência:

- a - Absolutamente necessário;
- e - Especialmente importante;
- i - Importante;
- o - Pouco importante.

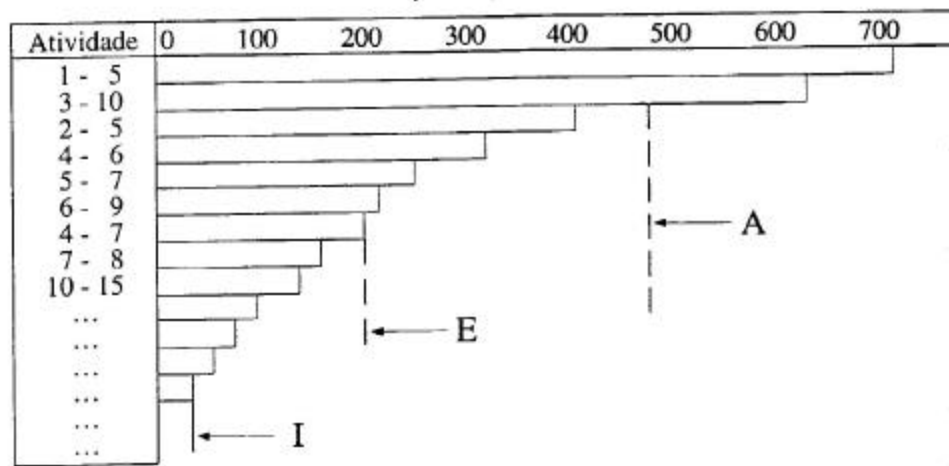


Figura 2.7 Intensidade do fluxo de materiais. (MUTHER,1978)

- 4- Carta de interligações preferenciais – é uma matriz triangular em que se representa o grau de proximidade e o tipo de inter-relação entre uma certa atividade;
- 5- Diagrama de Inter-relações – resulta da combinação dos itens 3 e 4, e nele visualizam-se as intensidades de fluxo, conforme mostra a figura 2.8;

Classificação	Nº de linhas	Descrição
A	4	Absolutamente necessário
E	3	Muito importante
I	2	Importante
O	1	Pouco importante
U	-	Desprezível
X	⋈	Indesejável
XX	⋈⋈	Extremamente indesejável

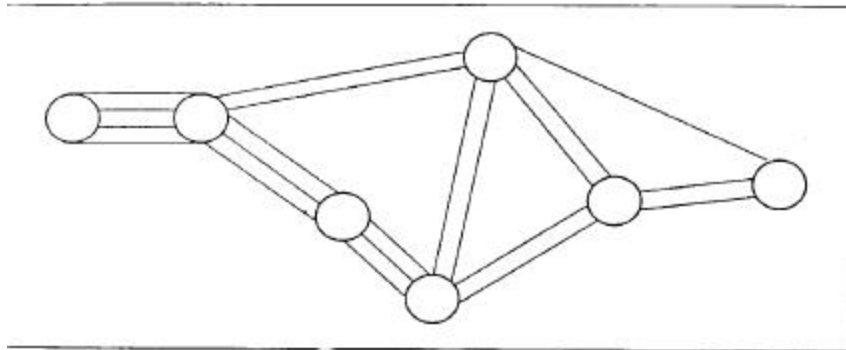


Figura 2.8. Diagrama de inter-relações. (MUTHER, 1978).

6- Cálculo de necessidades de espaço – o tamanho das máquinas existentes a serem adquiridas é que vai determinar a necessidade do espaço. *Softwares* específicos auxiliarão o projetista no planejamento do arranjo físico em um vídeo. Modelos tridimensionais para novos processos, de fácil visualização;

7- Diagrama de inter-relações entre espaços – a superposição das áreas necessárias para cada atividade sobre o diagrama de inter-relações resulta no diagrama de inter-relações entre espaços. Adaptação do espaço do diagrama:

1. Ajustar os espaços levando em conta somente o diagrama de fluxo;
2. Ajustar os espaços levando em conta somente o diagrama de inter relações;
3. Ajustar os espaços levando em conta um diagrama combinado de inter-relações de fluxo e outras atividades.

8- Elaboração – seleção das alternativas – existem diversas maneiras de arranjam-se as áreas calculadas em função de sua conveniência de proximidade entre os setores envolvidos. É bom elaborar diversas alternativas

para que se possa escolher qual a melhor entre elas. O problema agora é determinar qual das alternativas será a escolhida (plano x, y, z → 3 alternativas).

O ciclo final do sistema se completa quando o *layout* (arranjo físico) recebe aprovação. Ao alcançar-se este ponto pode-se iniciar a fase de planejamento detalhado do projeto (idem arranjo físico geral).

### **2.8.3 Trabalhos Desenvolvidos na Área de *Layout***

A seguir serão apresentados alguns artigos publicados recentemente na área de *layout* celular, mostrando como esses assuntos estão sendo estudados e resolvidos. Na seqüência apresenta-se integrando *layout* com movimentação de materiais, após tem-se a descrição da vantagem do *layout* celular x *layout* funcional e, por fim, melhorias de *layout* em uma célula de montagem.

### **2.8.4 Integrando *Layout* com Movimentação de Materiais**

Em artigo publicado na Revista LOG – Movimentação & Armazenagem (agosto de 2001), de autoria de Eduardo Banzato, gerente do IMAM, apontam-se diversas variáveis relacionadas aos sistemas de movimentação de materiais, que afetam significativamente o *layout*, tais como: área de acesso de uma ponte rolante, raio de giro de uma empilhadeira, largura de carrinhos industriais, tamanhos de cargas a serem movimentadas.

Análise científica – destacam-se duas variáveis responsáveis pelo dimensionamento dos recursos de movimentação necessários: intensidade de fluxo e distância (intensidade de fluxo = *palets*/dia, viagens e empilhadeira/hora).

Momento de transporte = intensidade de fluxo x distância.

De posse do momento de transporte, pode-se identificar se um *layout* é mais ou menos eficiente do ponto de vista de movimentação.

### **2.8.5 Vantagem do *Layout* Celular versus *Layout* Funcional**

Dispõe-se alguns comentários acerca de artigos e de publicações que tratam das vantagens do *layout* celular sobre o *layout* funcional.

Black (1998) diz que é crescente o número de empresas de manufatura que estão convertendo seus *layouts* funcionais, orientados à produção em lotes, em células interligadas, pois diminui-se muito o estoque em processo, o tamanho do lote e os trabalhadores passam a ser polivalentes.

Thorn (1996) descreve diversas vantagens, como ampliação da flexibilidade nos processos, facilidade para se isolar/resolver problemas, redução e controle de custos, redução de prazos ou aumento de produção, controle de estoques, melhoria da qualidade, controle de perdas, eliminação de refugos, focalização de novos critérios de projeto, introdução de novas tecnologias.

Boucher e Muckstadt (1984), em seus estudos, mostram as vantagens do *layout* celular sobre o *layout* funcional, chegando a atingir reduções nos custos de até 60%.

Os principais responsáveis pela redução dos custos de manufatura são:

- Tempos de *setup* reduzidos em função da produção de famílias de peça;
- *Lead time* reduzido pela aproximação das máquinas no *layout* celular e redução dos tamanhos de lote, em função da diminuição do *setup*;
- Redução das funções de suporte e de outros custos alocados, pois os trabalhadores da célula passaram a executar essas tarefas.

Shafer e Charnes (1991), a partir da simulação, testaram módulos de sistemas de produção para comparar o *layout* celular com o *layout* funcional. Os autores avaliaram fatores como: grau no qual ocorrem arranjos naturais de famílias, número de operações necessárias ao processamento de peças, tempo de processamento das peças em cada máquina e tamanho do lote. A conclusão dos autores é que o *layout* celular possui vantagens significativas sobre o *layout* funcional, em relação aos dados obtidos.

### **2.8.6 Melhorias de *Layout* em uma Célula de Montagem**

Darwin Sukiman e Shahrukh Irani, do departamento industrial de sistemas de Engenharia da Universidade do Estado de Ohio (EUA), publicaram artigo, editado pela revista Máquinas & Metais, de março de 2001, em que descrevem o projeto de



*layout* de uma célula de montagem. Os critérios usados foram níveis de demanda, distribuições da demanda e os processos executados. As medidas de desempenho foram fluxos de produtos e matérias-primas, requisitos de espaço, utilização dos operadores, produção e capacidade de expansão do *layout*. No final, os autores comentam que os esforços de coleta de dados são intensos para garantir precisão e que os resultados da simulação podem ser obtidos rapidamente. Metas que eles esperam alcançar com o novo *layout*: estoque reduzido, *lead times* curtos, distâncias de deslocamentos também reduzidos.

Com base em informações levantadas do *layout* atual, algumas observações mais importantes: baixa atualização de máquinas e operadores, muitos vazios de áreas não utilizadas, má utilização de prateleiras para armazenamento vertical e os tempos de ciclos não estão balanceados.

Medidas de desempenho: fluxos (de pessoal, de informações, de produtos, de matérias-primas), produção, visibilidade, capacidade de expansão e utilização do espaço.

Metodologia → Estabelecer diagramas de fluxo de processo, coletar dados, criar modelo de simulação, projetar alternativas de *layout*, avaliar prós e contras, determinar a melhor solução, coletar dados (taxas de demanda de produtos).

Melhor *layout* em forma de U, pelos seguintes motivos: melhor fluxo de pessoal, de produtos e de matérias-primas, maior percentual de utilização de espaço, melhor produção do que o *layout* atual, maior percentual para visibilidade do chão de fábrica, maior pontuação geral.

Este artigo nos mostra uma metodologia para projetar um *layout* melhorado de uma instalação de montagem.

A definição, a vantagem, a desvantagem e as etapas de um projeto de simulação serão apresentadas.

## **2.9 Simulação**

A simulação teve seu começo na década de 60, e sua origem deu-se com a introdução de computadores no mundo. Inicialmente, nos Estados Unidos, para

planejamento de operações militares, número de navios/veículos e alocação de artilharia. Hoje esta técnica está bem difundida nos EUA.

A técnica de simulação visual, cujo uso iniciou-se na década de 80, em virtude de sua maior capacidade de comunicação, teve uma aceitação surpreendente.

### **2.9.1 Definição de Simulação**

Para Prado (1999), o conceito de simulação mais aceito atualmente é: “uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Freitas (1999, p.1) afirma que:

A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente simulação, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo do mundo real.

### **2.9.2 Vantagem e Desvantagem da Simulação**

Na Revista P&S (Dez 2000), o professor Banks descreve várias vantagens:

- Novos projetos de equipamentos, de arranjos físicos, de sistemas de transporte podem ser testados sem a necessidade de utilizar os recursos existentes ou fazer aquisições;
- Tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo o aumento ou a redução da velocidade do fenômeno de investigação;
- Estudo da simulação pode ajudar no entendimento de como o sistema opera em vez de como os indivíduos pensam que o sistema opera.

Cassel (1996) relata as vantagens da simulação para os processos de mudança organizacional. A simulação complementa o processo de *benchmarking*.

Desvantagens:

- Necessidade de treinamento, requer conhecimentos específicos;
- Alguns as vezes os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação;

- Análises feitas a partir de uso de simuladores podem ser demorados e caros, podendo até mesmo inviabilizar seu uso;
- O levantamento de dados pode consumir muito tempo e ser oneroso.

### 2.9.3 Etapas de um Projeto de Simulação

Prado (1999) apresenta as etapas como sendo:

1. Identificação do problema (Meta: o que se espera resolver com o projeto de simulação);
2. Observação do problema:
  - Coletas de dados do sistema a ser simulado, constituído de:
    - a. *Layout* em *Autocad* ou *Visio*;
    - b. Identificação dos equipamentos e seus tempos de processamento;
    - c. Identificação dos fluxos no sistema, suas distâncias e suas durações;
    - d. Identificação dos transportadores;
    - e. Produção e produtividade do cenário atual.
3. Modelagem:
  - Faz-se inicialmente a modelagem da situação atual;
  - Faz-se, a seguir, a modelagem da situação do novo cenário.
4. Validação dos resultados;
5. Apresentação dos resultados;
6. Confeção da documentação final.

Apresentada a teoria sobre célula de manufatura, *layout* e simulação, na sequência do capítulo serão apresentados artigos recentes na área de simulação, a simulação no futuro e a fábrica do futuro.

#### 2.9.4 Artigos Recentes na Área de Simulação

Apresentar-se-ão artigos publicados recentemente de *softwares* novos no mercado de simulação para instalações de produção; simulações de *layouts* industriais; como grandes empresas estão simulando suas plantas industriais e as novas tendências da simulação. Ainda, artigos recentes sobre as tendências da fábrica do futuro

#### 2.9.5 Softwares de Simulação para Instalações de Produção

Conforme a revista Máquinas e Metais (1996), a empresa Alemã F & H fornece *software* de simulação para empresas que trabalham sob encomenda.

O sistema *Witness*, da empresa Alemã AT FT – *Istel*, possibilita um modelamento abstrato de instalações de produção: o sistema “campo”, uma ferramenta que abrange tanto a otimização de *layout* quanto o fluxo de material. Os *layouts* reais, gerados com o sistema *Auto Cad*, podem ser, assim, conectados a um modelo de fluxo de material. É possível, então, realizar uma simulação dinâmica e uma análise poderosa do *layout*. Uma ferramenta semelhante é o Taylor II.

#### 2.9.6 Softwares para Simulação de Layouts Industriais

Começam a aparecer no mercado brasileiro, *software* para execução de *layouts* industriais, conforme revista CADESIGN, n.79, de outubro de 2001. O desenvolvimento e a construção de plantas industriais utilizando *software*, vem acontecendo com mais freqüência em empresas de grande porte, como a Petrobrás, simulando a plataforma P37, com o *software* da *intergraph*, em modelamento 3D.

O *visfactory* é um conjunto de soluções para projeto de *layout* de fábricas, visando modelar, otimizar, simular e visualizar a manufatura de produtos discretos. Faz o modelamento da fábrica em 3D. Possui o *Factory Flow* para análise e otimização do *layout*.

#### 2.9.7 A Simulação no Futuro

Segundo a revista Produtos&Serviços (Dez 2000), a tecnologia da simulação teve um crescimento rápido. Muitas áreas confiam no uso da simulação para testar

novas idéias e opções. As indústrias mais ousadas estão extrapolando as aplicações tradicionais com o uso da realidade virtual e da simulação.

A simulação tornar-se-á o caminho para realização dos negócios na fábrica do futuro, pois as principais decisões sempre necessitarão ser avaliadas em todos os seus aspectos.

### **2.9.8 A Fábrica do Futuro**

Neste tópico mostrar-se-ão alguns artigos publicados recentemente sobre este tema, as tendências para as fábricas do futuro: mais flexíveis, mais democráticas, utilizando a virtualidade e a automação de chão de fábrica.

Pode-se citar alguns artigos como: O Futuro da Fábrica (revista Exame, fev. 2001), Fábrica do Futuro (revista PS – editora Banas, dez 2000) e A Empresa do Futuro (revista Banas Qualidade, nov. 2000).

O Futuro da Fábrica (revista Exame, fev. 2001): mostra algumas empresas no Brasil mais flexíveis e mais democráticas, quais sejam: Natura, *General Motors*, Audi/Volkswagen, *Springer Carrier*, *Eli Lilly*. Alguns tópicos:

- Fábrica limpa, silenciosa, arejada, transparente (uso de luz natural);
- Redes de cabos de fibra óptica;
- Projeto modular faz com que a capacidade de produção possa ser duplicada em um fim de semana;
- Nascimento de uma comunidade – os funcionários não serão encarados como meio de produção, mas como membros de uma comunidade, com valores e objetivos em comum;
- Na fábrica da era do conhecimento, os muros que separam pessoas, tarefa e lugares serão derrubados. A linha de produção e os escritórios convergem num centro de comunicação;

- Poder no chão de fábrica – os funcionários da produção participam do gerenciamento de suas células de trabalho e desempenham múltiplas tarefas;
- Na fábrica do futuro os profissionais precisam usar menos as mãos e mais a cabeça;
- Desenvolvimento sustentável – uso de luz natural, produção alimentada por energia solar, reaproveitamento da água de chuva;
- Obsessão pela qualidade – perfeição nos processos de fabricação;
- Tecnologia e informação, Intranet – a fábrica conectada;
- Manufatura sustentável – flexibilidade, computadores no chão de fábrica;

A manufatura virtual engloba todos os aspectos da engenharia de manufatura, provendo um ambiente de modelagem e uma simulação tão poderosa que o projeto/fabricação/montagem/manutenção de qualquer produto pode ser simulado num computador.

- Utilização de simuladores de produção (*software* de simulação).

## 2.10 Considerações

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos e uma conceituação teórica a respeito das técnicas de produção, a filosofia JIT/TQC, detalhando a produção focalizada e células de manufatura. Apresentou-se, de maneira sucinta, técnicas de *layout* industrial, que culminam com a simulação computacional, apresentando suas vantagens e desvantagens e descrevendo o Arena como o *software* que será usado nesta dissertação para fazer as análises sobre o tema proposto.

No capítulo seguinte será proposto e detalhado um modelo para avaliação de mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular empregando simulação discreta.

## CAPÍTULO 3 - MODELO PROPOSTO

### 3.1 Introdução

Apresenta-se, neste capítulo, um modelo para avaliação e implantação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta.

Conforme Tubino (1999), a filosofia JIT (*just in time*) é voltada para a otimização da produção. Esta filosofia baseia-se na produção focalizada, no nivelamento da produção, na redução do *lead times*, na fabricação em pequenos lotes, na redução de *setups*, na manutenção preventiva, na polivalência, etc. A fábrica é focalizada em "minifábricas" com famílias de produtos e o *layout* dentro da minifábrica é do tipo celular.

O balanceamento da produção neste novo sistema está voltado para a fabricação em pequenos lotes, flexibilizando a demanda. Esse balanceamento da produção torna-se importante, pois se deve obter uma fabricação uniforme, flexível, com operadores polivalentes e ágeis para mudança de direção, de acordo com a demanda. O balanceamento da fábrica é um processo dinâmico e contínuo.

O modelo proposto, utilizou como ferramenta de auxílio a simulação computacional, como forma de quantificar os parâmetros internos dos *layouts* celulares, gerando uma série de alternativas diferentes, auxiliando na decisão do analista.

Esta técnica permite que a utilização seja feita de forma interativa e visual, o que reduz a margem de erro do analista na descrição do sistema proposto.

O modelo proposto é adequado para processos repetitivos em lotes. Em processos sob encomenda, poder-se-á aplicar naqueles produtos que tiverem maior demanda.

Na figura 3.1 apresenta-se o fluxograma esquemático, com os passos a serem seguidos para a implantação do modelo proposto.

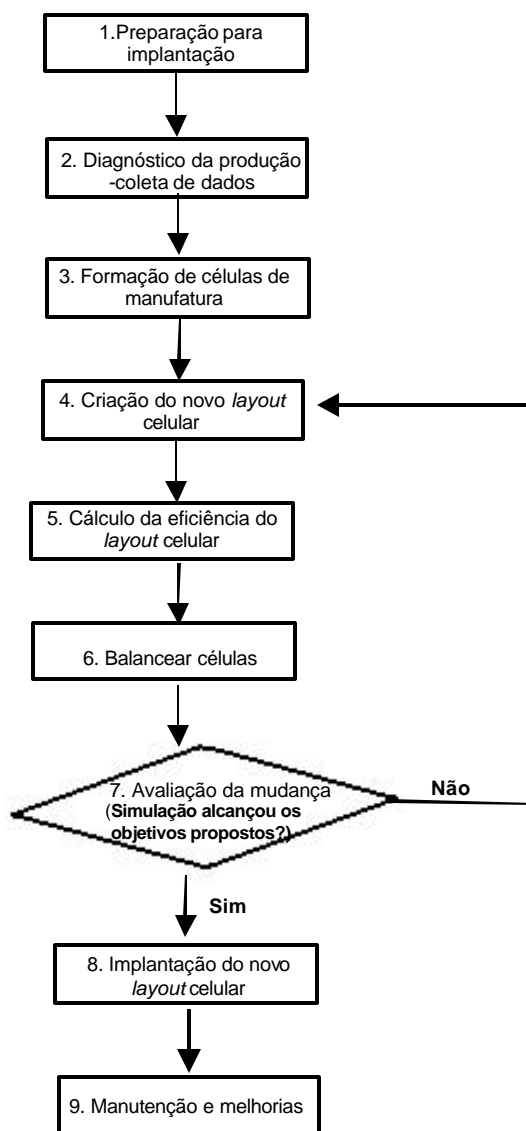


Figura 3.1 Fluxograma do modelo proposto (Fonte: Dados do pesquisador)



O modelo proposto utiliza a formação de células de manufatura através da utilização da tecnologia de grupo, devido o fato de ser a mais apresentada na bibliografia consultada. Segundo Rajamani (1990), a tecnologia de grupo é uma técnica de manufatura que agrupa atividades similares (família de peças).

Após, faz-se um balanceamento das células, otimizando o processo com menos estoques intermediários, diminuindo os *setups* e proporcionando maior taxa de ocupação das máquinas, maior flexibilidade no processo e maior produtividade.

O novo *layout* celular (arranjo físico celular) será planejado utilizando-se as técnicas desenvolvidas por Richard Muther (sistema SLP). A confecção dos desenhos com a utilização de um sistema de CAD (*Computer Aided Design*) facilita a mudança de posição das máquinas durante o estudo de criação do melhor *layout*.

O modelo define a utilização de indicadores de desempenho da produção JIT para verificação dos objetivos propostos. Define, também, a simulação computacional como ferramenta de análise dos dados de alguns parâmetros do sistema e dos indicadores de desempenho.

A seguir será detalhada cada uma das etapas do modelo proposto.

### **3.2 Etapa 1- Preparação para Implantação**

Nesta fase elabora-se um cronograma de implantação para o modelo para avaliação e implantação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta. Esse cronograma deverá ser executado por uma equipe da empresa e deverá fazer parte da equipe um membro da direção, um engenheiro de produção e supervisores da produção. Essa equipe, depois de criada, deverá elaborar detalhadamente o cronograma de implantação.

O cronograma deverá conter:

- Etapas de implantação;
- Tempo que cada etapa levará para ser executada;
- Quem irá executar cada etapa (responsabilidade);

- Visitas a outras empresas que já trabalham com células de produção (*Benchmarking*);
- Direcionar quem irá trabalhar no processo de disseminação e conscientização das novas teorias que serão aplicadas.

Apresenta-se o cronograma de implantação proposto

<b>Descrição</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>	<b>6°</b>	<b>7°</b>	<b>8°</b>	<b>9°</b>	<b>10°</b>	<b>11°</b>	<b>12°</b>
<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>	<i>Mês</i>
Diagnóstico da produção												
Visita a outras empresas												
Formação de células												
Criação do <i>layout</i> celular												
Cálculo da eficiência do <i>layout</i> celular												
Balanceamento de células												
Escolha do novo <i>layout</i>												
Treinamento metodologia												
Implantação												

Figura 3.2. Cronograma de implantação. (Dados do pesquisador)

### 3.3 Etapa 2- Diagnóstico da Produção (Coleta de Dados)

Nesta etapa executa-se um diagnóstico do sistema produtivo atual. Levantam-se os dados quantitativos de produção, formando uma base de dados que dará suporte ao dimensionamento do novo sistema produtivo.

Os itens sugeridos do levantamento são executados fazendo-se o plano de ação, utilizando-se a ferramenta 5W1H – o que, quando, como e quem, relacionados a seguir:

O Que	Quando	Como	Quem
<i>Layout</i> atual	Etapa 2	Imprimir cópia	Gerência produção
Quant.máquinas/dimensão	Etapa 2	Relacionar	Gerência produção
Tipos de transporte	Etapa 2	Relacionar	Gerência produção
<i>Lead times</i>	Etapa 2	Levantar dados	PCP
Quantidade produzida	Etapa 2	Relacionar por item	PCP
Tamanho do lote	Etapa 2	Relacionar por item	PCP
Tempo de operação	Etapa 2	Relacionar por item	PCP
Tempo de <i>setup</i>	Etapa 2	Relacionar por item	PCP
Roteiro de fabricação	Etapa 2	Relacionar por item	PCP
WIP ( <i>Work in Process</i> )	Etapa 2	Relacionar por item	PCP

Figura 3.3. Tabela dos itens do levantamento. (Dados do pesquisador)

Dependendo da quantidade de itens que a empresa fabrica, deve-se tomar os produtos principais para priorizá-los na análise da definição do *layout*. Segundo Muther (1978), é recomendado utilizar o diagrama P-Q, fazendo-se o gráfico dos produtos *versus* a quantidade dos produtos vendidos, para priorizar na análise do *layout*. É preciso selecioná-los por tipo de produto ou por tipo de agrupamento e utilizar a técnica da carta de processos múltiplos.

O *layout* atual é fundamental, pois permite obter uma visão de todos os processos utilizados pela empresa. É possível visualizar, por meio do desenho do fluxo de fabricação, as perdas que ocorrem no sistema em função da movimentação das peças entre as máquinas.

A partir deste diagnóstico é possível medir futuramente a eficiência do sistema.

### 3.3.1 Definição dos Objetivos

Para mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, cada empresa deve definir e priorizar os objetivos que esperam alcançar com a aplicação desta nova técnica. Alguns objetivos podem ser:

- redução da distância/tempo de movimentação;
- redução do espaço de manufatura;
- redução do *lead time*;
- redução dos tempos de *setups*;
- redução do estoque em processo;
- redução do estoque de produtos prontos.

### 3.3.2 Medidas de Desempenho

Dani e Tubino (1996) propõem medidas de desempenho específicas para a filosofia *Jus in Time*, que serão consideradas para avaliar quanto cada alternativa atingiu em vista da meta proposta pelo JIT. O sistema de avaliação deve ser desenvolvido para as atividades e os processos importantes da empresa.

1. Volume de produção – o volume de produção tem como objetivo medir a quantidade de produtos fabricados num determinado período. Sob a ótica da filosofia JIT, o volume de produção deve ser visto como a quantidade de produtos fabricados e vendidos, interna ou externamente, dentro do conceito de produção puxada:

$$MD1 = \text{Quantidade produzida} / \text{Quantidade vendida};$$

2. Tempo de passagem (*lead time*) – é a diferença de tempo que leva desde a solicitação de um determinado item até que ele seja entregue ao cliente. É calculado da seguinte maneira:

$$MD2 = \text{Data de entrega} - \text{Data do pedido};$$

3. Estoque em processo – a quantidade de estoques em processo necessários para atender uma determinada demanda relaciona-se, de forma direta, com a eficiência do sistema produtivo, pois quanto maior o nível de estoques intermediários maiores os custos diretos e indiretos associados aos produtos fabricados:

MD3 = Quantidade de estoques em processo;

4. Taxa de ocupação das máquinas - analisada isoladamente pode induzir à produção excessiva de estoques em sistemas desbalanceados. O enfoque convencional de maximização da taxa de utilização das máquinas encoraja a compra de equipamentos modernos com base apenas na velocidade de fabricação, dificultando a formação de células. Dentro do enfoque JIT, a taxa de utilização das máquinas deve estar associada ao desempenho global do sistema:

MD4 = Tempo produtivo da máquina/Tempo disponível da máquina;

- Tempo produtivo da máquina = tempo total de operação da máquina;
  - Tempo disponível da máquina = tempo total de disponibilidade da máquina.
5. Taxa de utilização de mão-de-obra – nos sistemas convencionais a avaliação da mão-de-obra privilegia o tempo total trabalhado comparado às horas pagas, sendo exigido dos empregados, assim como das máquinas, o máximo de tempo operando. A nova mentalidade de envolvimento dos empregados exige a participação dos mesmos não apenas na produção imediata de peças, mas também na manutenção preventiva das máquinas, na limpeza e na organização do ambiente de trabalho, na análise e na solução de problemas:

MD5 = Horas totais trabalhadas/Produção do período;

6. Taxa de utilização do espaço físico – com a nova disposição da fábrica focalizada, eliminam-se estoques, movimentações, corredores de acesso, aproximam-se máquinas, diminuem-se os lotes, etc. Calcula-se o quociente entre o espaço físico utilizado e o total de produtos fabricados:

MD6 = Espaço físico/Total produtos fabricados;

7. Margem de segurança – a margem de segurança indica o quanto as vendas podem ser reduzidas mantendo-se o lucro. Com operários

polivalentes, equipamentos e instalações passíveis de mudança no volume e tipos de produtos fabricados, é permitido à empresa alterar seu mix de produtos, tanto em volume como em variedades:

$MD7 = \text{Volume máximo de produção} / \text{Volume mínimo de produção}.$

### **3.4 Etapa 3- Formação de Células de Produção e de Montagem**

Nesta fase será executada a formação de células de manufatura e de montagem, em que deverão ser utilizadas algumas técnicas para a sua formação. A escolha vai depender das informações de que a empresa dispõe acerca dos agrupamentos, e de pessoal com conhecimento suficiente de tecnologia de grupo, além de recursos computacionais compatíveis com as necessidades previstas para o bom funcionamento do *software* escolhido, quando for o caso. Os dados de entrada para utilização da tecnologia de grupo variam de acordo com o nível de organização da empresa. Nas mais desenvolvidas, os dados relativos a tempo de fabricação e roteiros de fabricação se encontram armazenados em sistemas computacionais, facilitando assim a utilização desta técnica.

#### **3.4.1 Tecnologia de Grupo**


Pode-se dividir em quatro grupos básicos os métodos empregados pela tecnologia de grupo para definição das famílias, de acordo com Lorini (1993): inspeção visual, análise do fluxo de produção (PFA), classificação por código e reconhecimento de padrões. Esses métodos estão definidos na seção 2.3.

Conforme Tubino (1999), Maestrelli e Batocchio (2000), dos métodos disponíveis o mais adequado é o da análise do fluxo de produção (PFA), pois pode ser empregado de forma mais rápida, sem a necessidade de compor códigos complexos. Esta metodologia é baseada na análise da matriz peça/máquina, em que são permutadas linhas e colunas em uma matriz de incidência preenchida com os índices 0 ou 1 (1 se a peça passa pela máquina da respectiva linha e 0 se a peça não passa pela máquina). Essas permutações visam diagonalizar a matriz, o que resulta, após o processo, numa indicação dos agrupamentos que devem ser efetuados. A figura 3.4 apresenta um exemplo de matriz de incidência

peça/máquina, onde, na situação inicial (a) obtém-se, com a troca de posições de linhas e colunas, uma situação idealizada em (b), com a formação de duas células.

	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5
Máquina 1	0	1	0	1	0
Máquina 2	1	0	1	0	0
Máquina 3	1	0	0	0	0
Máquina 4	0	1	0	1	1
Máquina 5	0	0	0	1	1
Máquina 6	1	0	1	0	0

a - matriz de incidência inicial



	Peça 1	Peça 3	Peça 2	Peça 4	Peça 5
<i>Célula 1</i> Máquina 2	1	1	0	0	0
Máquina 3	1	0	0	0	0
Máquina 6	1	1	0	0	0
<i>Célula 2</i> Máquina 1	0	0	1	1	0
Máquina 4	0	0	1	1	1
Máquina 5	0	0	0	1	1

b - matriz de incidência final

Figura 3.4 Matriz de incidência peça/máquina. (TUBINO,1999, p.53).

### 3.4.2 Formato das Células de Manufatura

Depois de agrupados os itens por famílias com características afins, deve-se estudar o melhor formato para a célula. Segundo Tubino (1999), o desenho ideal para a montagem de células é o com formato “U”, podendo-se empregar, também, os formatos “V” ou “L”, ou combinações desses, formando-se uma serpentina. A figura 3.5, a seguir, apresenta uma tabela mostrando o formato da célula e quando usá-la.

Vantagens do formato “U”: manutenção de um ritmo de produção, flexibilidade na capacidade de produção, manutenção do padrão individual da operação e facilidade em adequar o *layout* às instalações.

Formato	Quando Usar
Máquina célula	Única máquina com produção elevada
Célula em U	Diversas máquinas, formato de U
Célula em L	Diversas máquinas, formato de L
Célula em linha	Máquinas interligadas transp. automático
Célula em serpentina	Linhas com mais de 8 posições
Célula em loop	Não passam por todos os processos

Figura 3.5. Formato da célula

### 3.4.3. Restrições aos Agrupamentos

No agrupamento das famílias para formar as células podem surgir peças ou operações em máquinas que são problemáticas para o arranjo, desviando a rota e trazendo complicações em termos de distância e de transporte. Deve-se tratar essas peças como exceções e estudá-las melhor, podendo até serem terceirizadas, de acordo com o custo, para que a célula fique mais eficiente.

### 3.5 Etapa 4- Criação do Novo *Layout* Celular

Na etapa do diagnóstico da produção (na seção 3.3), fez-se o levantamento do *layout* atual. Com a formação da célula de manufatura, executada no item 3.4, parte-se, agora, para a criação do novo *layout* celular, privilegiando o fluxo das peças mais importantes, utilizando-se a chave PQRST para abrir as soluções do *layout*, segundo Muther (1978).

P – Produto (material);

Q – Quantidade (volume);

R – Roteiro (seqüência do processo de fabricação);

S – Serviços de suporte;

T – Tempo.



Deve-se, então aproximar ao máximo as áreas com mais relação e efetuar o mais próximo possível as células de produção das áreas de montagem final.

### **3.5.1 Passos para Criação do *Layout***

Para a criação do *layout* são utilizados os passos do SLP descritos na seção 2.8.2, que mostra detalhadamente os oito passos para o SLP, quais sejam: levantamento do fluxo de processo, elaboração do diagrama DE-PARA, diagrama de intensidade de fluxo, carta de interligações preferenciais, diagrama de inter-relações, cálculo de necessidades de espaço, diagrama de inter-relações entre espaços e elaboração/ seleção das alternativas.

Conforme Tubino (1999), em vez de agrupar as máquinas por função, deve-se agrupá-las por produto, focalizando-as em produto ou família de produtos. A ênfase agora está na aceleração do fluxo de conversão das matérias primas em produtos.

O *layout* em escala deve ser elaborado em um sistema CAD (*Computer Aided Design*), (*Autocad*®, *Varicad*®) etc, pois no computador se consegue obter mais rapidez nas alterações que o grupo venha a fazer nos *layouts* discutidos.

Deve-se elaborar alguns *layouts* celulares para que o grupo escolha qual será o melhor, de acordo com as análises efetuadas. Esse processo de análise do *layout* deve ser de forma interativa. Desenvolve-se o primeiro projeto de *layout* e apresenta-se ao grupo para análise e sugestões de melhorias. Continua-se desenvolvendo novos *layouts*, até que se chegue ao melhor projeto, de acordo com as restrições existentes e os objetivos planejados.

### **3.6 Etapa 5- Cálculo da Eficiência do *Layout* Celular**

Com a nova proposta de *layout* celular efetuada em um sistema CAD, executa-se a simulação do mesmo em um sistema computacional, para verificar-se a eficiência do *layout*, em utilizando o software Arena.

Conforme Pegden (1990), a simulação prevê o comportamento de sistemas, calculando o movimento e a interação dos componentes do sistema. Pela avaliação do fluxo de peças através das máquinas e estações de trabalho, pode-se avaliar

*layout*, seleção de equipamentos e procedimentos de operação. A simulação fornece a capacidade de experimentar no modelo o sistema real.

### **3.6.1 Etapas de um Projeto de Simulação**

Na seção 2.9.3 apresentam-se as etapas de um projeto de simulação, como sendo:

1. Identificação do problema;
2. Observação do problema;
3. Modelagem;
4. Validação dos resultados;
5. Apresentação dos resultados;
6. Confeção da documentação final.

### **3.6.2 Software Arena**

O *layout* será simulado no *software* Arena, que visualiza o sistema como um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes que se movem no sistema.

Esse modelo será constituído de lógica e animação.

- Lógica: utilizando comandos (também chamados de blocos ou módulos) monta-se o programa;
- Animação: são colocados desenhos e símbolos para representar as estações de trabalho e os caminhos por onde passa a entidade.

A estrutura básica utilizada na criação da animação com o Arena é o *layout*, que representa graficamente o sistema que está sendo modelado. Com a animação do *layout* pode-se ver as peças, os trabalhadores, as máquinas e os meios de transporte se movimentando.

### 3.6.3 Dados Iniciais de Entrada

- *Layout*;
- Máquinas de acordo com *layout*, podendo ser acrescentadas conforme a simulação do modelo;
- Intervalo entre produção de itens;
- Tamanho do lote;
- Transporte – Correia, empilhadeira, operador.

### 3.7 Etapa 6- Balancear Células

Nesta etapa deverá efetuar-se o balanceamento da célula de manufatura. O tempo padrão da célula deverá ser balanceado para sincronizar a produção, evitando a formação de estoques intermediários. Conforme Black (1998), balancear refere-se a igualar o tempo. Balancear os tempos dos processos e montagem final também implica em balancear mão-de-obra e máquinas.

Na etapa do diagnóstico da produção, deve-se levantar dados para tê-los como base para cálculos:

- Roteiro de fabricação ou montagem da peça ou produto;
- Tempos padrões das operações;
- Programa de produção/dia;
- Tempo de trabalho/dia.

#### 3.7.1 Balanceamento de uma Linha de Produção

Conforme Junior (1992), a seqüência de cálculos é:

- Rotina de trabalho;
- Tempos padrões;

- Carga de mão-de-obra:

$N^{\circ}$  de pessoas = Programa de produção/dia x tempo total de fabricação/peça

Tempo de trabalho/pessoa/dia;

- Tempo padrão balanceado (TPB) = Tempo total de fabricação da peça/

$N^{\circ}$  de pessoas (carga M.O);

- O tempo padrão balanceado define o posto de trabalho;
- Postos de trabalho

⇒ O balanceamento é feito seguindo o seguinte critério:

- Quando o tempo padrão da operação for igual ou próximo a T.P.B. significa que aquela operação já é um posto de trabalho;
- Quando o tempo da operação for menor de T.P.B. existe a necessidade de acoplar-se outras máquinas ou trabalhos, para que o tempo do posto fique próximo ao T.P.B, possibilitando o balanceamento da linha;
- Quando o T.P. da operação for maior que o T.P.B. é necessário completar o trabalho com horas extras ou incluir outro turno de trabalho.

Eficiência é a produtividade da linha, antes e depois do balanceamento.

- Produtividade = O que se produz (tempo)/ = %

Deveria ser produzida (tempo) – Inatividade (tempo);

- Eficiência = O que se produz (tempo)/ = %

Deveria ser produzido (tempo).

Este procedimento poderá ser feito com *software* dedicado para esse cálculo, ou poder-se-á utilizar o *software* Arena para simular o balanceamento de linhas ou de toda a fábrica.

Para que esse balanceamento ocorra, deve-se também substituir a fabricação de grandes lotes, características dos sistemas convencionais, pela fabricação de pequenos lotes variados, acompanhando a demanda e flexibilizando a produção.

Pode-se ajustar a célula acrescentando-se ou substituindo-se trabalhadores.

A linha é balanceada:

- Diminuindo os lotes de fabricação;
- Aumentando ou diminuindo máquinas na célula;
- Aumentando ou diminuindo operadores;
- Fazendo hora extra em algum ponto, para equilibrar;
- Balancear o tempo padrão.

### **3.8 Etapa 7- Avaliação da Mudança – A Simulação do *Layout* Alcançou os Objetivos Propostos**

Na etapa 3.6 foi executada a simulação do *layout* celular, de acordo com os parâmetros iniciais do modelo. O número de máquinas e o seu posicionamento na área de manufatura terão sua definição inicial determinada no projeto proposto de *layout* para a simulação. As demais variáveis, como intervalo entre produção de item, tamanho do lote, tipo de transporte, etc, poderão ser alteradas após a execução da simulação, caso os objetivos propostos não sejam alcançados.

Nesta etapa verifica-se a avaliação da mudança: Se de acordo com os objetivos propostos do novo *layout* as metas traçadas foram alcançadas. Devem ser analisados os resultados dos relatórios de simulação e as medidas de desempenho apresentadas na seção 3.3.2 devem ser calculadas, fazendo-se comparação com as medidas de desempenho atuais da empresa. Se os resultados obtidos não forem

satisfatórios este procedimento deverá ser repetido até que os objetivos propostos sejam alcançados.

### **3.9 Etapa 8- Implantação do Novo *Layout* Celular**

Depois de definido o melhor *layout* celular, o grupo deve definir uma estratégia de alteração para o novo *layout*. Deve-se disseminar as informações relativas às alterações que serão efetuadas, às vantagens do novo modelo de *layout* e efetuar o treinamento dos funcionários de acordo com o novo processo.

Deve-se levar em consideração que, sempre no início da mudança, há um período de adaptação, de conscientização e, em seguida, um crescimento na melhoria do processo.

O desenho do novo *layout* (disposição das máquinas com cotas e medidas), da planta elétrica e hidráulica deverão ser colocados à disposição da equipe que irá efetuar as modificações. A parte elétrica deverá ser suspensa, para ter-se maior flexibilidade em futuras melhorias e alterações de *layout*.

Deve-se evitar ao máximo executar o chumbamento das máquinas, deve-se construir pisos nivelados e colocá-los sobre amortecedores (*vibrastop*), obtendo-se maior flexibilidade.

### **3.10 Etapa 9- Manutenção e Melhorias**

O último procedimento do modelo ocorre após a implantação do sistema. Faz-se um acompanhamento de manutenção ao passo que se vai obtendo e implantando melhorias que certamente aparecerão.

Conforme Imai (1994), o princípio de melhoria contínua, conhecido como *Kaizen*, significa que nenhum dia deve passar sem que melhore sua posição competitiva. Todos dentro da empresa devem estar com o foco voltado para a melhoria contínua, como forma de direcionar o incremento de produtividade.

Neste novo sistema deve-se manter o ambiente limpo e organizado (utilizando a técnica do 5s), usando-se ferramentas como o CCQ (Círculos de Controle de Qualidade) para implantar melhorias e fazer o grupo crescer em conhecimentos. No

CCQ usa-se muito o ciclo PDCA (*Plan* - planejar, *Do* – Executar, *Check* – verificar, *Action* – agir corretamente.). Com CCQ, usa-se ainda a análise de solução de problemas (diagrama de causa-efeito, de Ishikawa, ou espinha de peixe).

Esse processo de melhoria deve ser constante, pois quando se atinge um patamar propõe-se lutar para alcançar um novo degrau na melhoria do processo ou do sistema. Este será um processo contínuo, já que a empresa deverá lutar para obter funcionários treinados, com maior grau de instrução e motivados para colocar suas sugestões em prática, sendo recompensados. Seus líderes e gerentes devem ser dinâmicos e com visão, para que esse sistema alcance seus objetivos com maior eficiência.

### **3.11 Considerações**

Neste capítulo apresentou-se o modelo proposto passo a passo, para avaliação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta.

No próximo capítulo, apresentar-se-á um estudo de caso de uma empresa que atua no ramo metalúrgico, fornecendo equipamentos para armazenagem e secagem de cereais na área agrícola, situada no sul de Santa Catarina. Usar-se-á o modelo descrito nesse capítulo.

## **CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO**

Apresenta-se neste capítulo, uma aplicação prática do modelo proposto no capítulo 3, em uma empresa metal-mecânica, propondo a mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta.

### **4.1 Apresentação da Empresa**

O ramo de atividade da empresa é o metal-mecânico, dedicando-se principalmente ao setor agroindustrial. Fabrica equipamentos para limpeza, para armazenagem, para secagem e para transporte de cereais a granel. A empresa produz indústria de parboilização de arroz e indústrias de ração para aviários e suinocultura.

A linha de fabricação da empresa é composta por diversos equipamentos, dos quais cita-se como principais: silos armazenadores, silos fundos perfurados, silos pulmões, silos de ração, transportadores helicoidais, transportadores de correia, secadores contínuos, secadores intermitentes, fornalhas metálicas/alvenaria, elevadores de caçambas, máquinas de pré-limpeza, ventiladores, sistemas de parboilização de arroz.

#### **4.1.1 O Processo Produtivo**

O processo produtivo da empresa é de configuração departamentalizada (por processo), isto é, grupos de máquinas separados por operação ou processo. A produção é dividida em setores. Os principais são:

- PCP – setor que recebe o pedido, faz o planejamento e o controle da produção, totalmente informatizado, enviando para o chão de fábrica o desenho, em folha A4, e no verso o roteiro de fabricação, com requisição do material;



- Corte – onde se inicia o processo de fabricação, como corte de chapas e tubos. Possui guilhotinas CNC, Plasma CNC, calandra e perfiladeira;
- Estamparia – executa o processo de recorte, de furação, de dobra e de calandragem de peças. Possui prensas excêntricas, calandras, viradeiras CNC e puncionadeira CNC;
- Usinagem – executa a usinagem de peças como eixos, polias, mancais. Possui tornos convencionais, tornos CNC, chaveteiras, fresadora, centro de usinagem CNC;
- Caldeiraria – setor que executa a montagem e solda das peças. Possui máquinas de solda *mig*, esmerilhadeiras, furadeiras, rebidadeiras, parafusadeiras;
- Jato/ Pintura – setor de limpeza de peças (jato de *sinter ball* – preparação para pintura ) e pintura líquida;
- Almoxarifado – setor responsável pelo recebimento e controle de itens comerciais e fabricados. Separa por meio de romaneio e envia itens dos pedidos para clientes;
- Expedição – setor responsável pelo controle de peças externas, codificando e enviando itens fabricados para os boxes dos clientes. Efetua o embarque dos equipamentos para os clientes.

Possui como setores de apoio, manutenção e programação CNC.

Apresenta-se na figura 4.1, o *layout* atual dos setores produtivos da empresa.

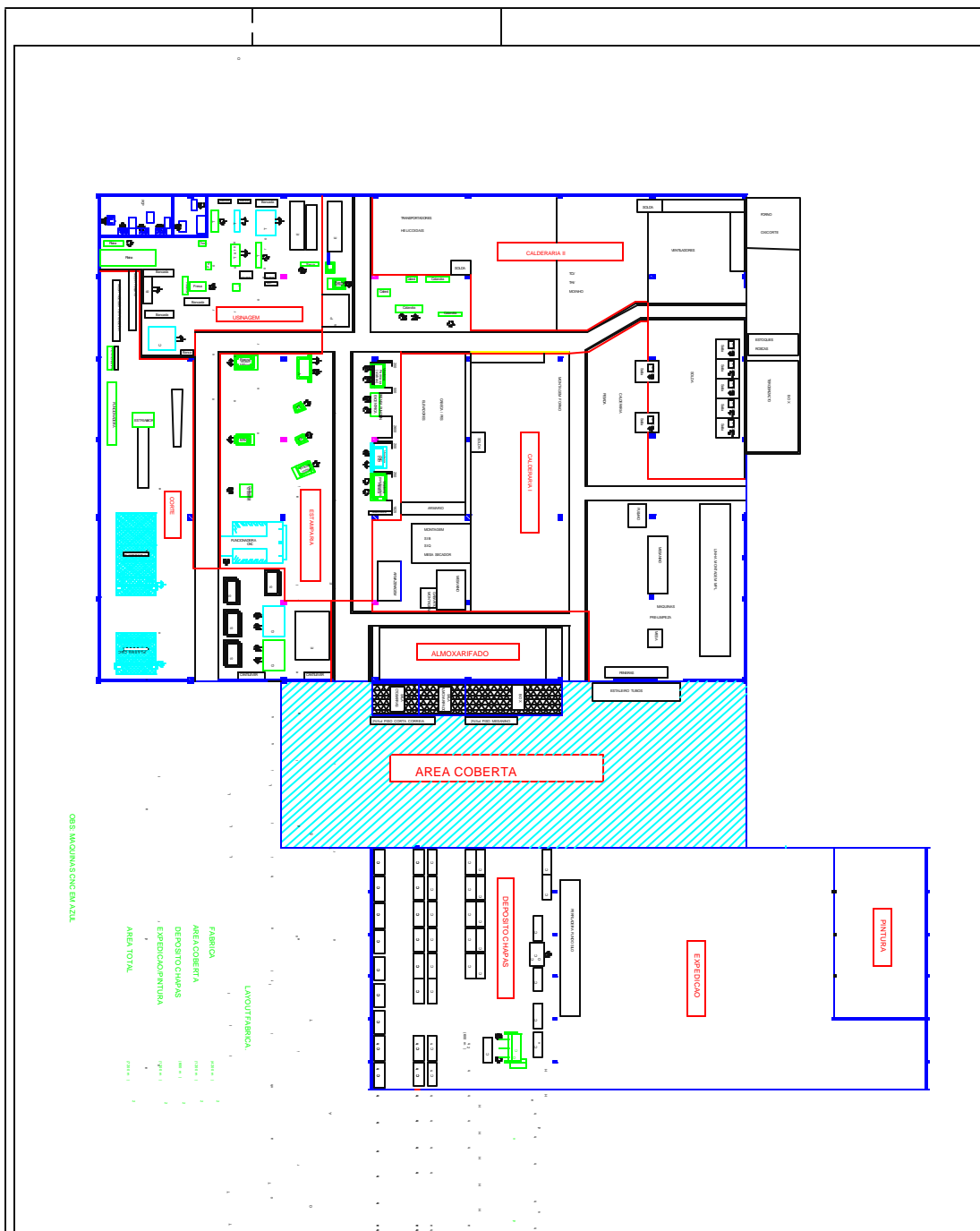


Figura 4.1. Layout atual da fábrica. (Dados do pesquisador)

#### 4.1.2. Novas Tecnologias

A empresa, nos últimos quatro anos, está investindo constantemente, renovando o seu parque industrial, principalmente em máquinas de última geração, existentes no setor. Máquinas de corte a plasma CNC, guilhotinas CNC, viradeira hidráulica CNC, perfiladeiras CNC, tornos CNC e centro de usinagem CNC.

Novas tecnologias também foram implantadas. A informática tornou-se constante no dia-a-dia, com o PCP (Planejamento e Controle da Produção) totalmente informatizado no chão de fábrica. Recentemente foi implantado o código de barras no chão de fábrica, agilizando e melhorando o controle de fabricação.

Na parte de informações, a empresa está conectada via rede de computadores, o que simplifica e torna mais rápido o acesso às informações. Um funcionário conectado em rede poderá estar acessando informações de outros setores, podendo agilizar as tomadas de decisões.

Estas ações, mais o aumento do número de vendedores atuando em todo território brasileiro, vêm fazendo com que a empresa obtenha um bom percentual de vendas nos últimos anos, passando de quarta para a segunda em vendas no ramo. Com esta estratégia a empresa vem crescendo e ganhando maior número de clientes satisfeitos. Atuando com destaque no setor, com equipamentos de ponta, bom prazo de entrega e fazendo o projeto de acordo com as necessidades do cliente.

Fluxograma do pedido- o pedido passa pelos seguintes setores na empresa: vendas, *layout*, projeto, PCP, fabricação e expedição.

A fabricação é considerada sob encomenda, sendo que alguns itens e equipamentos são fabricados sob forma repetitiva em lotes.

Após a programação dos pedidos pelo PCP, inicia-se a fabricação dos equipamentos pelos setores divididos por máquinas ou processos.

A empresa possui uma grande variedade de produtos e itens, dificultando no chão de fábrica a sua fabricação e em consequência a formação de células. Em contrapartida é oferecido um maior número de opções para o cliente.

## 4.2 Aplicação do Modelo Proposto

A seguir será desenvolvido, passo a passo, o modelo proposto no capítulo anterior.

### 4.3 Etapa 1- Preparação para Implantação

Elaborou-se um cronograma de implantação, conforme mostra a figura 4.2, para mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, auxiliado pela simulação discreta.

Equipe para executar o cronograma: diretor industrial, gerência e supervisão da produção.

<i><b>Descrição</b></i>	<i><b>1° Mês</b></i>	<i><b>2° Mês</b></i>	<i><b>3° Mês</b></i>	<i><b>4° Mês</b></i>	<i><b>5° Mês</b></i>	<i><b>6° Mês</b></i>	<i><b>7° Mês</b></i>	<i><b>8° Mês</b></i>	<i><b>9° Mês</b></i>	<i><b>10° Mês</b></i>	<i><b>11° Mês</b></i>	<i><b>12° Mês</b></i>
Diagnóstico da produção												
Visita a outras empresas												
Formação de células												
Criação do <i>layout</i> celular												
Cálculo da eficiência do <i>layout</i> celular												
Balanceamento de células												
Escolha do novo <i>layout</i>												
Treinamento metodologia												
Implantação												

Figura 4.2. Cronograma de implantação. (Dados do pesquisador)

### 4.4 Etapa 2- Diagnóstico da Produção (coleta de dados)

Executou-se um levantamento detalhado do sistema produtivo atual, formando-se uma base de dados para a seqüência do procedimento.

#### 4.4.1 Recursos

**Instalações:** a empresa possui área construída de 9.500m<sup>2</sup> e área disponível de 25.000m<sup>2</sup>;

**Equipamentos:** no processo produtivo, as principais máquinas são guilhotinas CNC, perfiladeiras, prensas excêntricas, viradeiras hidráulicas, viradeiras CNC, puncionadeira CNC, tornos, centro de usinagem, serra fita, solda *mig*, jato *sinter ball*, pintura líquida, entre outros;

**Transporte:** o transporte interno é executado manualmente: carrinhos quatro rodas, empilhadeiras, pontes rolantes, etc;

**Mão-de-obra:** a fábrica possui mão-de-obra qualificada, como engenheiros, técnicos, operadores de máquinas, torneiros, fresadores, caldeireiros, pintores. Opera em dois turnos, possuindo no chão de fábrica aproximadamente 300 funcionários;

**Sistema de informações:** a fábrica possui um sistema de informações que está disponibilizado via rede, onde estão dados de projeto, roteiros de fabricação, custos;

**Planejamento e controle da produção:** o PCP é parte principal da produção, sendo informatizado e no chão de fábrica possui, ainda, coletores com código de barras;

#### 4.4.2 Definição dos Objetivos

Os principais objetivos definidos pela equipe para obtenção de um sistema de produção mais simples e eficiente com células de manufatura são:

- Redução da distância percorrida pela peça/produto em 80%;
- Redução do espaço físico necessário à fabricação em 25%;
- Redução do número de funcionários em 30%;

#### 4.4.3 Cálculo da Medida de Desempenho para o Processo Atual

As medidas de desempenho que serão utilizadas neste estudo de caso são: tempo de passagem (*lead time*), taxa de utilização do espaço físico e taxa de ocupação das máquinas. Comparar-se-ão as medidas de desempenho para a peça tipo 4 , módulo de elevador EI 5013:

- Tempo de passagem (*Lead time*): tempo demandado para fabricação de um produto final, desde a ordem de fabricação até a conclusão do produto;  
MD1= 61.65 min (dado obtido do tempo de fabricação atual-figura 4.7)
- Taxa de utilização de espaço físico: espaço físico utilizado para fabricação/quantidade produzida;  
MD2 =  $158/387 = 0.40$  m<sup>2</sup>/unidade (dado obtido do *layout* atual-figura 4.1 e figura 4.5);
- Taxa de ocupação das máquinas, conforme figura 4.3.

TAXA DE OCUPAÇÃO	%
Prensa hidráulica	18.31
Montagem	29.40
Solda	29.23
<i>Sikaflex</i>	18.36
Pintura	9.54

Figura 4.3. Taxa de ocupação das máquinas. (Dados do pesquisador)

**Layout atual:** conforme figura 4.1;

**Processo produtivo:** conforme item 4.1.1;

**Principais produtos:**

Silos;  
Elevadores;  
Secadores;  
Transportadores helicoidais;  
Máquinas de pré-limpeza.

A seguir apresenta-se a quantidade produzida no ano de 2001, segundo a figura 4.4.

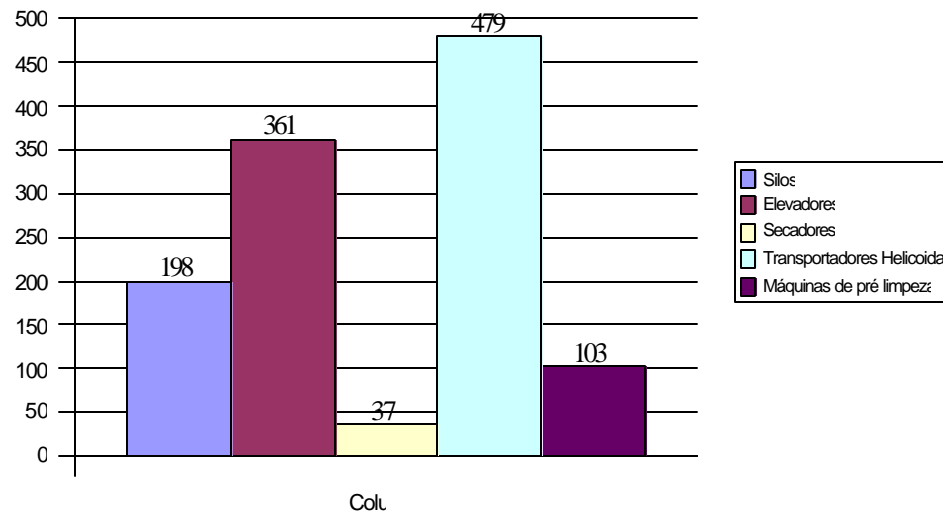


Figura 4.4. Quantidade produzida no ano 2001. (Dados do pesquisador)

O estudo foi efetuado no equipamento elevador, com seus componentes e subconjuntos, para mostrar a utilização do modelo proposto. A seção 4.5 apresenta a formação das células de manufatura de acordo com a tecnologia de grupo, formando as seguintes células:

- Célula 1 – módulo de elevador (6 modelos);
- Célula 2 – Caçambas (5 modelos).

Mostra-se, referência aos subconjuntos de módulos de elevador e de caçambas, os dados de produção atual:

- Demanda mensal (figura 4.5 e 4.6);
- Roteiros de fabricação (anexo 1);
- Estrutura do produto (figura 4.14);
- Tempos de fabricação (figura 4.7);
- *Layout* atual com o fluxo das peças (figura 4.8 e 4.9);
- Fluxo de materiais (figura 4.10 e 4.11);
- Tempo de fabricação e *setup* (figura 4.12 e 4.13);
- Quantidades produzidas (figura 4.17).

Observa-se, na figura 4.5, a demanda mensal dos módulos de elevadores e na figura 4.6 a demanda mensal de caçambas.

**DEMANDA MENSAL MÓDULOS ELEVADORES**

<b><i>Código</i></b>	<b><i>Modelo</i></b>	<b><i>ago</i></b>	<b><i>set</i></b>	<b><i>out</i></b>	<b><i>nov</i></b>	<b><i>dez</i></b>	<b><i>jan</i></b>	<b><i>fev</i></b>	<b><i>mar</i></b>	<b><i>abr</i></b>	<b><i>mai</i></b>	<b><i>jun</i></b>	<b><i>jul</i></b>	<b><i>tot.</i></b>
42604268	Mód. EI 2010	2	10	6	3	21	9	8	4	6	10	3	12	94
42604301	Mód. EI 3010	2	6	10	8	12	5	8	11	8	5	9	12	96
42604318	Mód. EI 4010	6	4	8	9	6	5	3	10	5	6	7	13	82
42600372	Mód. EI 5013	2	0	34	17	31	51	62	93	31	18	11	37	387
42600400	Mód. EI 6018	33	82	51	43	79	282	139	71	104	37	47	62	1030
42600429	Mód. EI 6028	37	6	144	181	128	172	109	45	17	0	4	17	860

Figura 4.5. Demanda mensal de módulos de elevadores. (Dados do pesquisador)

**DEMANDA MENSAL CAÇAMBAS**

<b><i>Código</i></b>	<b><i>Modelo</i></b>	<b><i>ago</i></b>	<b><i>set</i></b>	<b><i>out</i></b>	<b><i>Nov</i></b>	<b><i>dez</i></b>	<b><i>jan</i></b>	<b><i>fev</i></b>	<b><i>mar</i></b>	<b><i>Abr</i></b>	<b><i>mai</i></b>	<b><i>jun</i></b>	<b><i>jul</i></b>	<b><i>tot.</i></b>
42600040	Caç. 105	91	85	316	0	2988	1080	252	1923	117	2474	577	0	9903
42600645	Caç. 130	0	240	536	335	288	980	1298	2549	756	550	595	660	8787
42600196	Caç. 180	604	1773	2351	398	2247	4545	4043	3025	2202	795	848	663	23494
42600468	Caç. 230	677	691	0	1336	299	3924	2397	825	1444	0	0	119	11712
42600044	Caç. 280	611	0	3475	4461	3276	3125	1557	1430	1133	0	213	555	19836

Figura 4.6. Demanda mensal de caçambas. (Dados do pesquisador)



## Tempos de Fabricação

=====			
DATA : 30/07/02			
PÁGINA: 00001			
LEVANTAMENTO DE MINUTOS PREVISTO P/ FABRICAÇÃO DO EQUIPAMENTO			
EQUIPAMENTO: 42600400  MODULO 6018X2000 C/ORELHA GALV.  QTDE: 1.00			
=====			
G.M./ARTIGO	DESCRIÇÃO	TOTAL DE TEMPO	TEMPO
S/PREPAR.			
101	GUILHOTINAS	5.55	4.85
201	PRENSA EXCÊNTRICA 5/15 TON.	3.60	2.00
205	PRENSA EXCÊNTRICA 30/60 TON.	4.84	2.00
220	VIRADEIRA	10.46	8.00
301	AJUSTE E MONTAGEM, CALDEIRARIA I	16.00	16.00
501	SOLDA	16.10	16.00
512	PINTURA	5.10	5.00
990	TERCEIRIZAÇÃO	0.00	0.00
TOTAL TEMPO =====>		61.65	53.85
TOTAL GERAL =====>		61.65	53.85
=====			

Figura 4.7. Tempos de fabricação do módulo de elevador. (Dados do pesquisador)

Estes tempos de fabricação foram coletados no chão de fábrica e estão todos cadastrados e disponíveis no sistema de programação de produção.

Conforme Tubino (1999), com a redução dos tempos de *setups* estimulado pelo *layout* celular, pode-se diminuir o tamanho dos lotes de fabricação, fazendo com que o tempo médio de fabricação diminua, acelerando o fluxo para a conversão em produto acabado.

Apresenta-se o layout com o fluxo de materiais do módulo de elevador e da caçamba para o processo atual (Figuras 4.8 e 4.9).

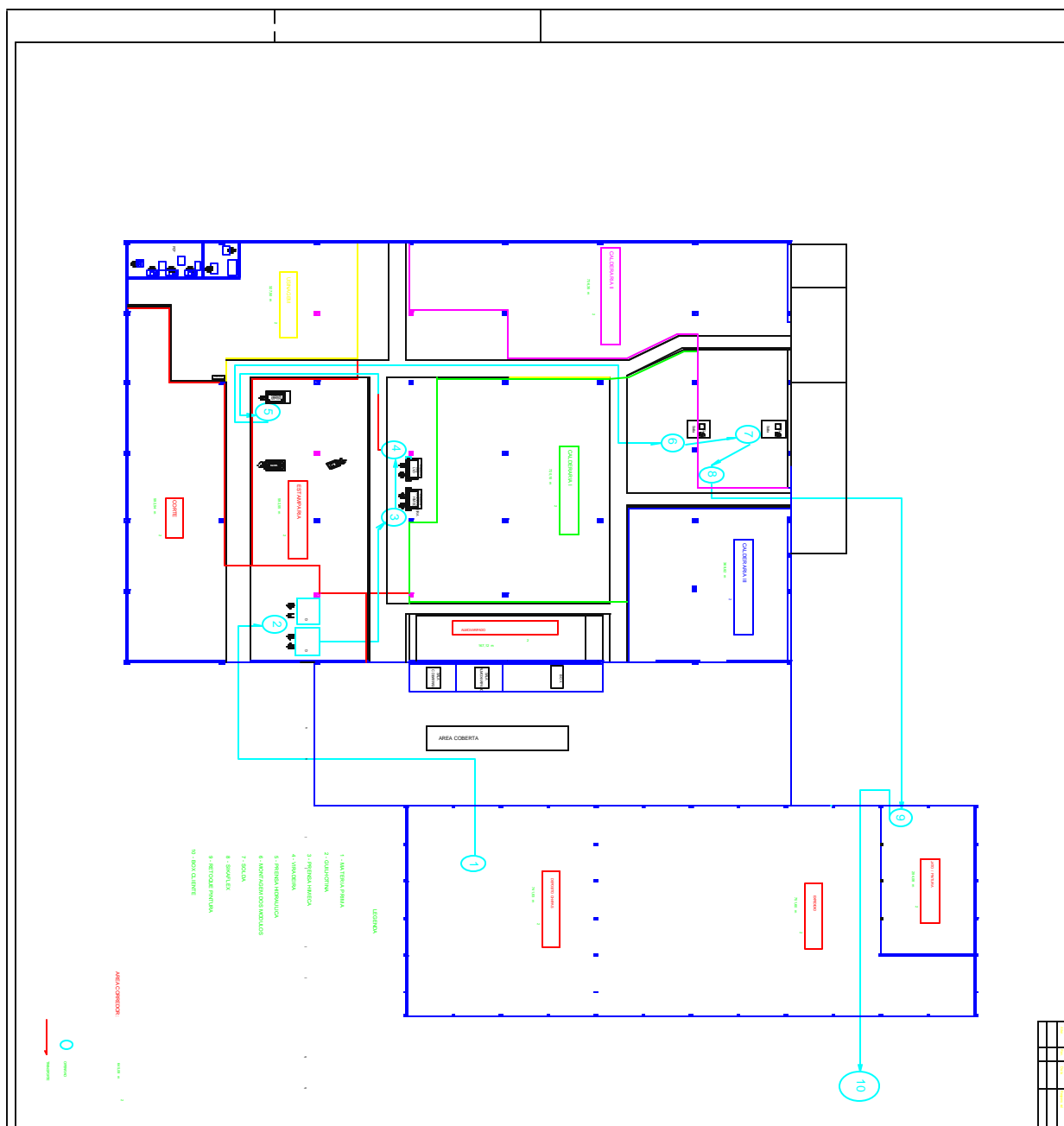


Figura 4.8 Layout com o fluxo de materiais do módulo de elevador. (Dados do pesquisador)

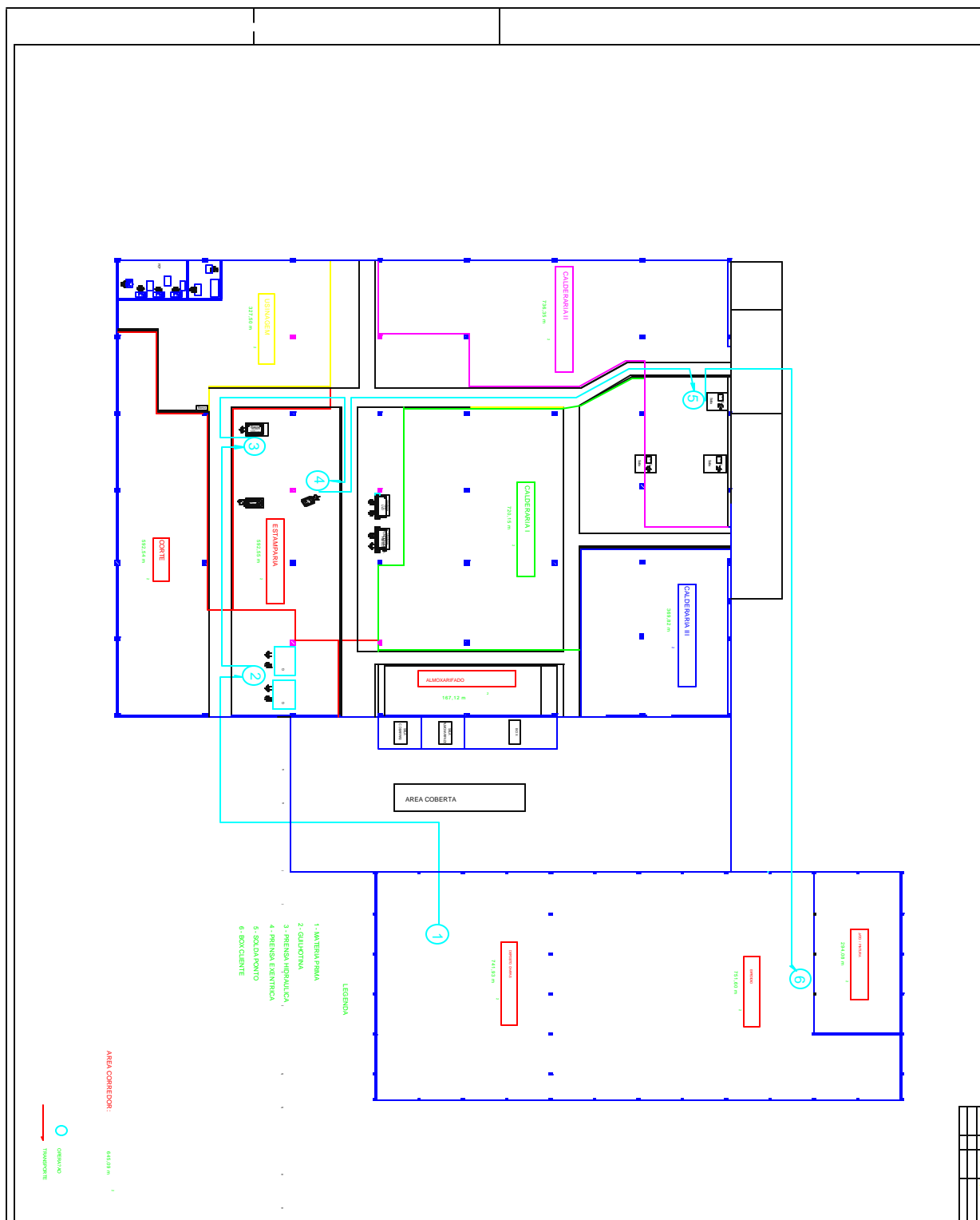


Figura 4.9 *Layout* com o fluxo de materiais da caçamba. (Dados do pesquisador)  
Mostra-se, nas figuras 4.10 e 4.11, o fluxo de materiais do elevador e da caçamba.

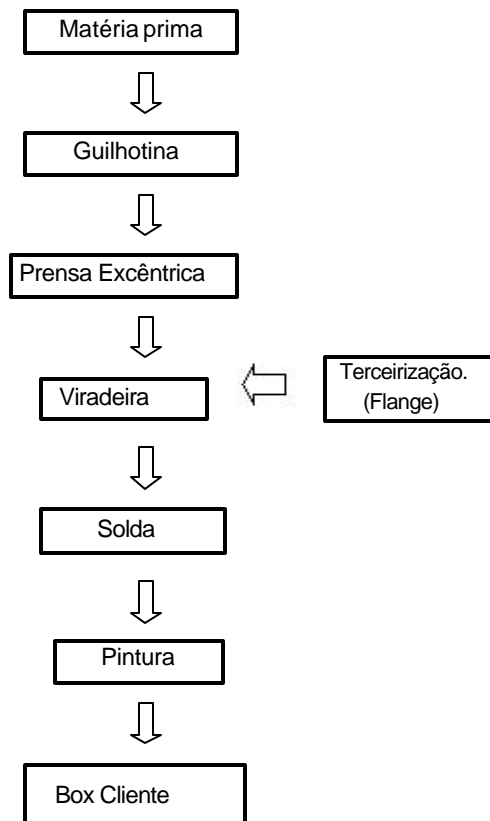


Figura 4.10. Fluxo de materiais do módulo elevador. (Dados do pesquisador)

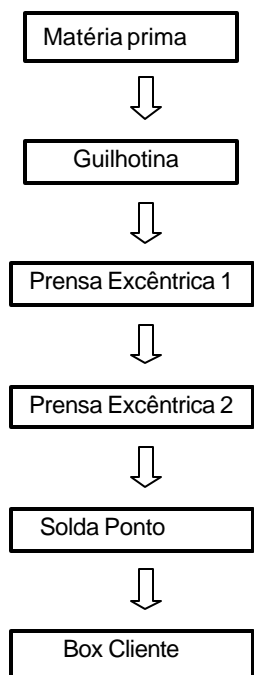


Figura 4.11. Fluxo de materiais da caçamba. (Dados do pesquisador)

Tempos de fabricação e *setup* para o módulo de elevador e caçamba, conforme figura 4.12 e 4.13

<b>Grupo de Máq. G.M.</b>	<b>Máquina</b>	<b>Operação</b>	<b>Tempo setup (min)</b>	<b>Tempo fabric (min)</b>
101	Guilhotina	Corte	1,00	4,85
205	Prensa excêntrica	Recorte	10,00	4,00
220	Viradeira	Dobra	10,00	8.00
210	Prensa hidráulica	Cravamento	15.00	9.00
301	Máquina mig	Montagem	2,00	14,00
501	Máquina mig	Solda	1,00	19,10
510	<i>Sikaflex</i>	Vedação	2.00	8.00
512	Pistola pintura	Pintura	3	5.0

Figura 4.12. - Tempos de fabricação e *setup* para o módulo EL 6018 x 2000 (42600400). (Dados do pesquisador)

<b>Grupo de Máq. G.M.</b>	<b>Máquina</b>	<b>Operação</b>	<b>Tempo setup (min.)</b>	<b>Tempo fabric (min.)</b>
101	Guilhotina	Corte	1,0	0,95
205	Prensa exc. 60t.	Furação	10	0,50
210	Prensa exc. 90t.	Estampagem	10	1,50
504	Solda ponto	Solda	-	1.0

Figura 4.13. - Tempos de fabricação e *setup* por unidade de peça para a caçamba com 180 (42600196). (Dados do pesquisador)

### 4.5 Etapa 3 - Formação de Células de Produção e de Montagem

A seguir, apresenta-se a formação das células de produção.

#### 4.5.1 Os Produtos Escolhidos para Estudo

O estudo foi efetuado no equipamento elevador com seus componentes e subconjuntos para mostrar a utilização do modelo proposto.

Modelos fabricados de elevadores - EL 2010, EL 3010, EL 4010, EL 5013, EL 6018, EL 6023, EL 6028.

**Estrutura do Produto** - A empresa possui toda a estrutura e codificação dos produtos produzidos.

Listagem da estrutura do elevador 6018.

PÁGINA: 00001					
LISTAGEM DA ESTRUTURA - 1o.NÍVEL			DATA .: 30/07/20		
EQUIPAMENTO : 42600981 DESCRIÇÃO: EL 6018 X 20.2 SOJA 50T/H 7.5CV					
IT PRODUTO	UNPROJETO	QTD.	ROM.	CPP	
1 42602397 MONTAGEM CABEÇA MOTORA 6018	7.5CV PC	1.000	1.000	1 N	
2 42603565 PE EL 6018 C/ESTICADOR E MOEGA	PC	1.000	1.000	1 N	
3 42600299 PASSARELA 6018	PC	1.000	1.000	1 N	
4 42600369 BOCA DESCARGA 6018 200	PC	1.000	1.000	1 S	
5 42600786 GUARDA CORPO EL (CONJUNTO P/ 2 MT)	PC	8.000	8.000	1 N	
6 42600196 CAÇAMBA C/180MM	PC	259.000	259.000	1 N	
7 42602184 CHAPAS PARA NIVELAR ELEVADOR (S/D)	PC	10.000	10.000	1 N	
8 42603387 CANTON.TRAVAMENTO 3/16X 1 1/2 C/6MT	PC	1.000	1.000	1 N	
9 42602400 CORREIA PL1200 6018 8 X 4 P=162	MT	41.500	41.500	1 N	
10 42600404 MÓDULO 6018X2000 C/PORTA INSP.GALV	PC	1.000	1.000	1 N	
11 42600401 MÓDULO 6018X2000 C/SUPORTE 7.5CV	PC	1.000	1.000	1 N	
12 42600400 MÓDULO 6018X2000 C/ORELHA GALV.	PC	7.000	7.000	1 N	
13 15200007 ARRUELA LISA M-10 (S/D)	PC	60.000	64.000	1 N	
14 15100022 PORCA SEXT. M-10 - 5	PC	60.000	64.000	0 N	
15 15000083 PARAF. SEXT. M-10 X 25 4.6 933	PC	60.000	64.000	0 N	

16 15200008 ARRUELA LISA M-8 (S/D)	PC 190.000 203.000	1 N
17 15100023 PORCA SEXT. M- 8 - 5	PC 190.000 203.000	0 N
18 15000096 PARAF. SEXT. M- 8 X 20 4.6 933	PC 190.000 203.000	0 N
19 29000001 MASSA CALAFETAR 0 1/4 X 700MM	FL 57.000 61.000	0 N
20 15200002 ARRUELA CONICA M- 8 (S/D)	PC 518.000 554.000	1 N
21 15000116 PARAF. CAÇAMBA M-8 X 25 C/PORCA CP	PC 518.000 554.000	0 N
22 15000181 CHUMBADOR TECNART M-10 X 100	PC 6.000 6.000	0 N
24 42604499 TAMPA MOEGA CARGA 6018 200	PC 1.000 1.000	1 S
25 15000118 PARAF. CAÇAMBA M-8 X 40 C/PORCA CP	PC 30.000 32.000	0 N

TOTAL DE ITENS IMPRESSOS: 24

Figura 4.14. Estrutura do elevador 6018. (Dados do pesquisador)

**Quantidades Produzidas:** as quantidades produzidas dos elevadores estão relacionadas na tabela:

MODELO	ANO 2002	MÉDIA DIÁRIA MENSAL
EL 2010	65	2.16
EL 3010	19	1.58
EL 4010	8	0.66
EL 5013	75	6.25
EL 6018	122	10.16
EL 6028	72	6
DIAS TRAB.	252	21

Figura 4.15. – Produção anual/mensal dos elevadores fabricados pela PAGÉ.  
(Dados do pesquisador)

Pode-se, a partir da listagem da estrutura dos produtos, analisar as peças similares para formar-se as células.

No ano anterior foram produzidos 361 elevadores. O percentual de venda está aumentando a cada ano.

Na figura 4.16 mostra-se a principal estrutura dos elevadores.

1	MONTAGEM DA CABEÇA EL	361
2	PÉ EL	361
3	BOLA DESCARGA	361
4	TAMPA MOEGA CARGA	361
5	CHAPAS PARA NIVELAR EL	3610
6	CAÇAMBA	73732
7	MÓDULO EL X 2,000	2549

Figura 4.16. Estrutura principal dos elevadores. (Dados do pesquisador)

Os elevadores possuem 6 modelos em sua estrutura e seus itens são similares, alterando apenas as medidas (ou tamanho) para cada um atuar em uma faixa de produção.

Os seis modelos de cabeça de elevadores possuem os mesmos roteiros de fabricação, tendo, somente, diferenças nos tamanhos (dimensão), com isto configurando famílias de produtos. O mesmo ocorre com o pé, a boca descarga, a tampa, as caçambas e os módulos.

#### 4.5.2 Diagrama P-Q

Fazendo a relação de peças/quantidades por meio da listagem da estrutura de produtos, pode-se representar de forma gráfica e realizar a análise ABC, conforme figura 4.17.



### Diagrama P- Q

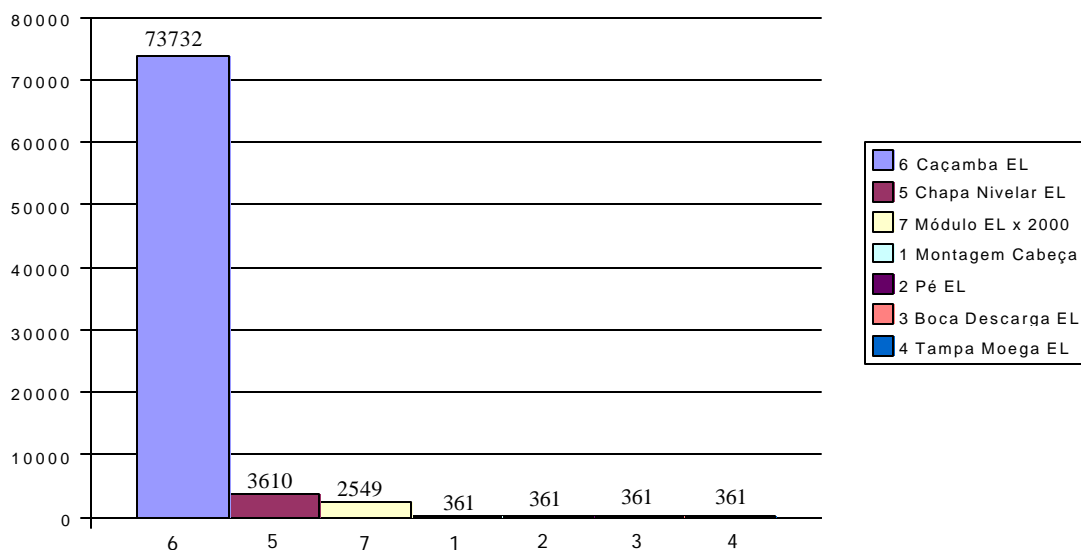


Figura 4.17. Quantidades anuais de itens fabricados para análise. (Dados do pesquisador)

A partir da curva ABC pode-se verificar que os itens mais produzidos são as caçambas, formando uma família de produtos. Os módulos de elevadores serão agrupados em outra família, conforme mostra a figura 4.18. É possível, ainda, formar a família 3, composta por montagem da cabeça de elevador e pé de elevador.

OBS.: Chapa para nivelar é retalho de chapa, com pouco valor agregado.

CÉLULA 1	CÉLULA 2
MÓDULO EL 2010	CAÇAMBA 105
MÓDULO EL 3010	CAÇAMBA 130
MÓDULO EL 4010	CAÇAMBA 180
MÓDULO EL 5013	CAÇAMBA 230
MÓDULO EL 6018	CAÇAMBA 280
MÓDULO EL 6028	

Figura 4.18. Formação da célula 1 e da célula 2.(Dados do Pesquisador)

#### 4.6 Etapa 4- Criação do Novo *Layout* Celular

Após a formação das células de produção foi criado, então, um novo *layout* celular. Na execução do *layout* celular deve-se privilegiar o fluxo das peças mais importantes, utilizando-se a chave PQIRST:

P- Produto (material), Q- Quantidade (volume), R- Roteiro, S- Serviços, T-Tempo.

O ideal é elaborar alguns *layouts* celulares de acordo com os passos e ficar com três alternativas para se definir a melhor proposta de *layout* celular.

Feitos esses *layouts* em escala e elaborados em CAD (*Computer Aided Design*), chega-se à escolha da proposta de *layout*, pelo grupo, de acordo com os objetivos traçados.

*Layout* conforme fig.4.19. (*Layout* com célula da caçamba e célula do módulo de elevador).

##### 4.6.1 Restrições aos Agrupamentos

Na criação e elaboração do *layout celular* do módulo de elevador, as operações nas máquinas guilhotina e viradeira causaram restrições à célula, pois são máquinas que executam operações em diversas outras peças e equipamentos, dificultando a sua alteração para a célula. Analisando-se custos, decidiu-se terceirizar as operações nessas máquinas, fazendo com que a peça entre direto na célula, proporcionando maior otimização.

##### 4.6.2 Célula do Módulo de Elevador

Pode-se notar, pela figura 4.8, que existe muita movimentação e perda de tempo por transporte entre as máquinas. Com a formação da célula, figura 4.19, diminui-se bastante a movimentação e executa-se a pintura dentro da mesma, enviando o módulo diretamente para o *box* do cliente.

### 4.6.3 Célula da Caçamba

Na figura 4.9 nota-se que existe muita movimentação e transporte entre as máquinas. Nesta célula, figura 4.19, fez-se uma grande mudança em termos de *layout*. A célula tornou-se autônoma, executando o processo do início ao fim. As chapas, antes cortadas em tiras, na guilhotina, agora são adquiridas em bobinas *slitter*, sendo processadas na célula, ficando prontas na mesma e enviadas diretamente para o *box* do cliente.

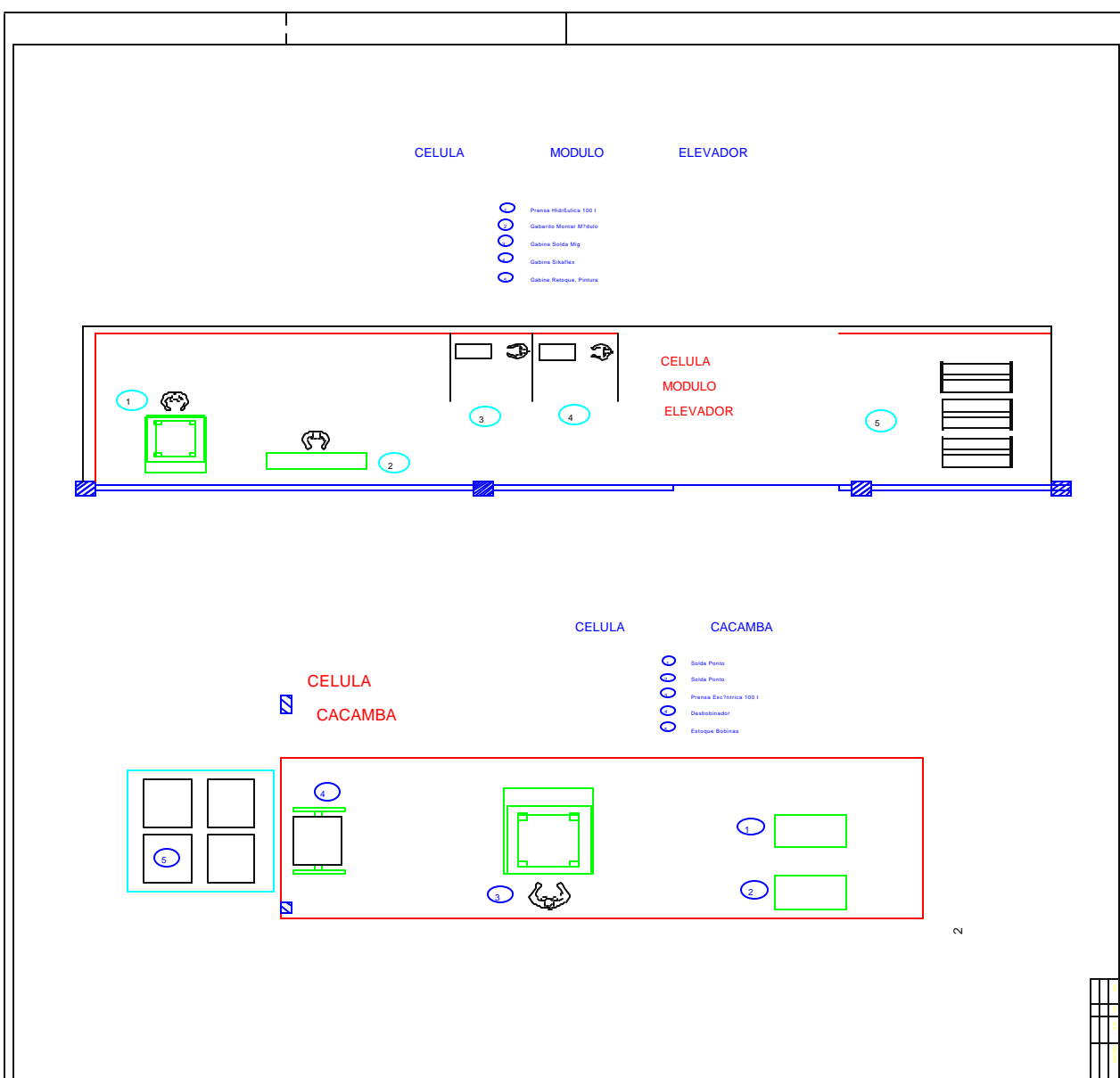


Figura 4.19. Células módulo de elevador e de caçamba. (Dados do pesquisador)

#### 4.7 Etapa 5- Cálculo da Eficiência do *Layout* Celular

A simulação será executada por meio do *software* Arena<sup>®</sup>, que será separado em lógica (blocos) e animação. Com a animação do *layout* pode-se ver as peças, os trabalhadores, às máquinas e os meios de transporte se movimentando.

##### Considerações Iniciais

- Utilizou-se no modelo apenas duas células de manufatura do equipamento elevador. No restante dos equipamentos poderá ser feito o mesmo estudo, executando o procedimento em todo o processo produtivo;
- Definiu-se o sistema como não-terminal, o processamento nunca retorna ao estado inicial, ele o retoma do ponto onde parou;
- Executado um período de aquecimento (*WARM-UP*);
- Utilizou-se a opção *default* do sistema, fazendo-se uso dos valores reais no processo produtivo atual.

##### 4.7.1 Simulação do *Layout* Atual - Sistema Convencional Equipamento – Módulo de Elevador

Executou-se a simulação do módulo de elevador no sistema convencional (figura 4.21) para poder-se compará-lo com a célula do módulo de elevador no modelo proposto.

##### Análise de Dados para Simulação

Os dados de entrada para simulação deverão estar aproximados o mais próximo possível do mundo real. Para a simulação do processo atual utiliza-se o arquivo histórico da ocorrência de vendas no ano anterior. Esses dados são colocados em um editor de texto ou banco de dados, separados por espaços em branco, devendo estar no formato ASCII. Os dados da amostra são utilizados no *Arena Input Analyzer*, ferramenta do ARENA, que fará a avaliação dos dados brutos do arquivo em uma distribuição e realizará o teste de aderência com todas as possíveis distribuições.

A figura 4.20 mostra o histograma dos dados do arquivo para o módulo de elevador.

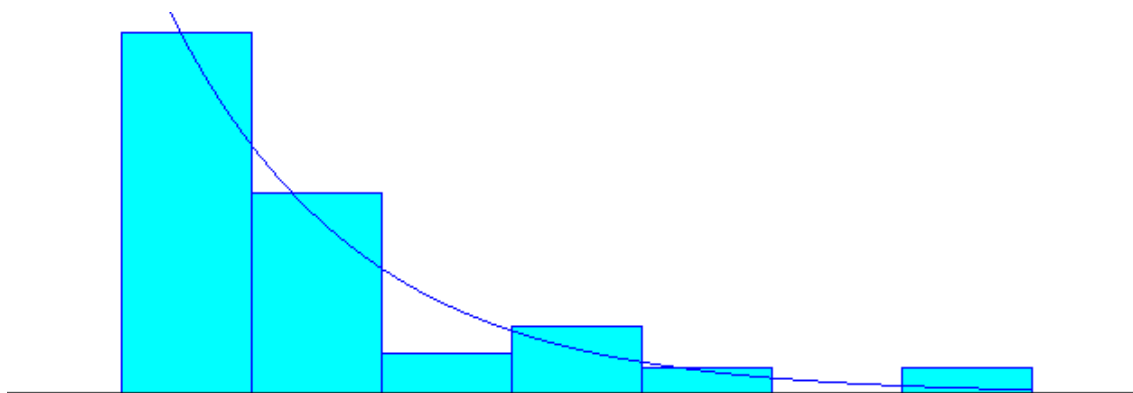


Figura 4.20 Histograma dos dados do arquivo para o módulo EI 6018. (Dados do pesquisador)

Na figura 4.21, apresenta-se o *layout* atual com ambiente de animação para o módulo de elevador.



Figura 4.21 Simulação do processo atual da célula do elevador. (Dados do pesquisador)

- Distância percorrida pela peça no processo atual: **341 m;**
- Número de funcionários no processo atual: **16 Funcionários;**

- Utilização do espaço físico no processo atual: **158 m<sup>2</sup>**.

Os tempos médios para fabricação das peças são altos em função de muitos setups, de baixa taxa de ocupação das máquinas e das máquinas estarem dispostas longe umas das outras ocasionando muita movimentação.

#### **4.7.2 Dados Iniciais dos Parâmetros do Modelo**

Valores reais do processo atual:

- Demanda – conforme figura 4.5 e 4.6;
- Os dados de entrada de produção para cada tipo de produto são utilizados conforme os históricos de venda do ano anterior. Esses dados são usados no *Arena Input Analyzer*. Após os testes de comportamento as demais variáveis podem ser alteradas para verificar a possibilidade de aumento de produção em função das modificações no sistema produtivo;
- Tempos de *setup* conforme figura 4.12;
- Tempos de produção - conforme figura 4.7;
- *Layout* celular – conforme figura 4.19, que mostra o *layout* celular. Este parâmetro é muito importante para o processo de modelagem e de simulação, pois pode-se alterá-lo e melhorá-lo se as metas não forem atingidas;
- Os recursos utilizados na modelagem do sistema;

**Célula 1** – Módulo de elevador (conforme figura 4.19)

- 6 estações (máquinas);
- 6 estações – entrada;
- 1 estação - saída (*box* do cliente).

**Célula 2** - caçamba de elevador (conforme figura 4.19)

- 3 estações (máquinas);
- 5 estações entrada;
- 1 estação saída (*box* do cliente).

Na figura 4.22 e 4.23 os grupos de máquinas para a célula 1 e da célula 2, respectivamente.

Grupo de máquinas - Operadores - Distância por máquinas				
G.M	Máquina.	Operador	Transporte	Distância (m)
201	Prensa hid.	2	Carrinho	4
301	Máq. mig	2	Carrinho	4
501	Máq. mig	1	Carrinho	4
505	<i>Sikaflex</i>	1	Carrinho	4
512	Pist. pintura	1	Carrinho	7
----	Box cliente	2	Carrinho	93

Figura 4.22. Grupo de máquinas da célula 1. (Dados do pesquisador)

Grupo de máquinas - Operadores - Distância por máquinas				
G.M	Máquina.	Operador	Transporte	Distância (m)
---	Matéria prima	1	Empilhadeira	0
210	Prensa 100t	1	Paleteira	3
504	Solda ponto 1	1	Paleteira	4
505	Solda ponto 2	1	Paleteira	4
----	Box cliente	1	Empilhadeira	5

Figura 4.23. Grupo de máquinas da célula 2. (Dados do pesquisador)

- Transporte: o transporte será executado por empilhadeiras, ponte rolante, carrinhos, paleteira, conforme o caso. Ver figura 4.22 acima.

Tempo de *warm-up*: o tempo de *warm-up* deve ser tal que garanta os valores gerados inicialmente, onde o sistema opera fora da condição de regime. O *warm-up*



elimina as estatísticas neste tempo de simulação. Considera-se esse tempo como sendo de um mês ou 11130 minutos.

Tempo de simulação: o tempo de simulação deve ser suficiente para que os dados sejam confiáveis para se avaliar o sistema em estudo. O tempo utilizado para avaliar o sistema foi de um ano ou 144690 minutos.

Depois de definidos esses parâmetros iniciais, a situação atual da empresa e os estudos de *layout*, pode-se então utilizar a simulação do *layout* proposto, conforme figura 4.24.

Será simulada a célula 1 do módulo de elevador, sendo colocada em prática como célula piloto.

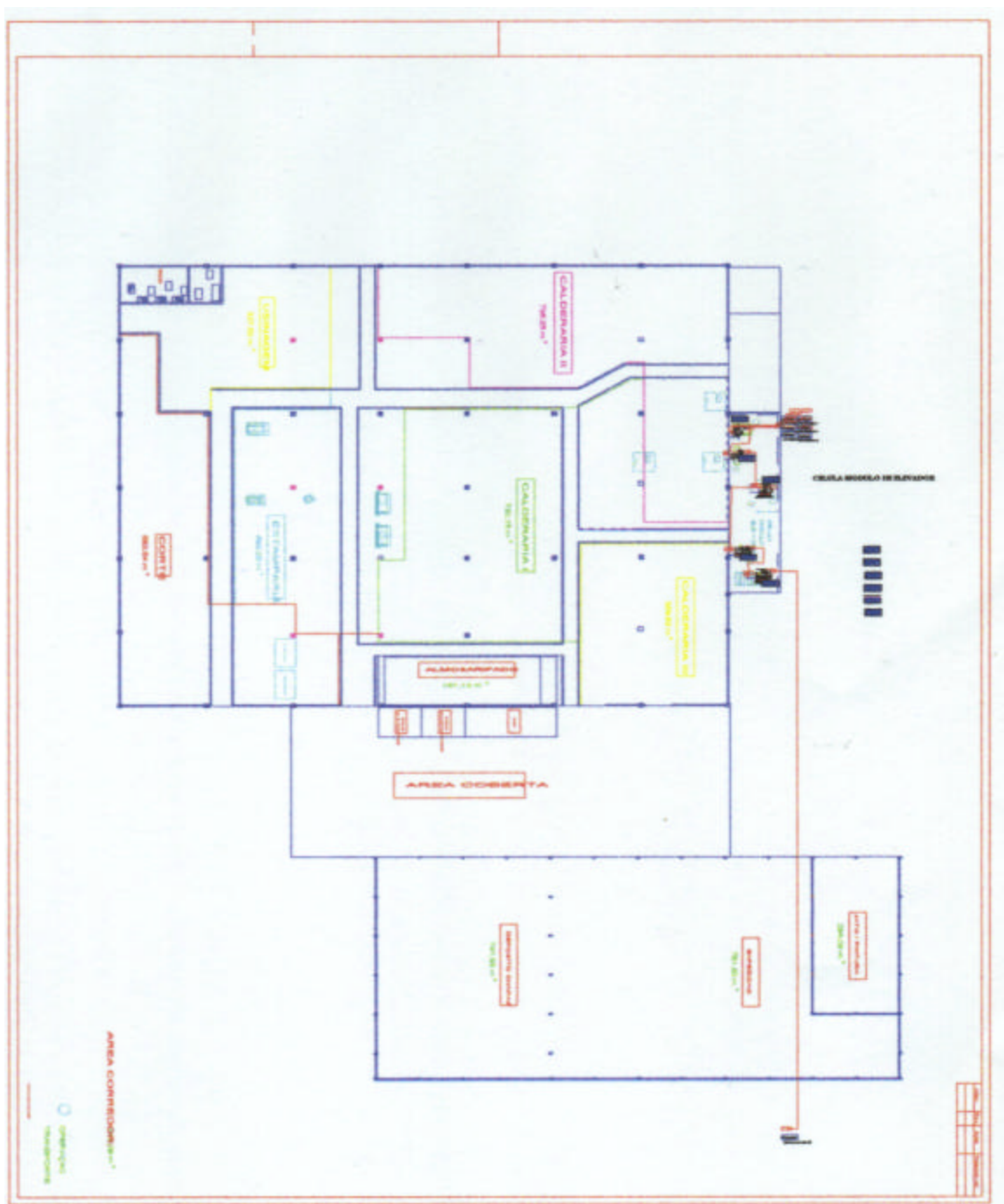


Figura 4.24. *Layout* proposto da célula do módulo de elevador com ambiente de animação do modelo. (Dados do pesquisador)

Figura 4.25 mostrando em detalhe a célula do módulo de elevador.

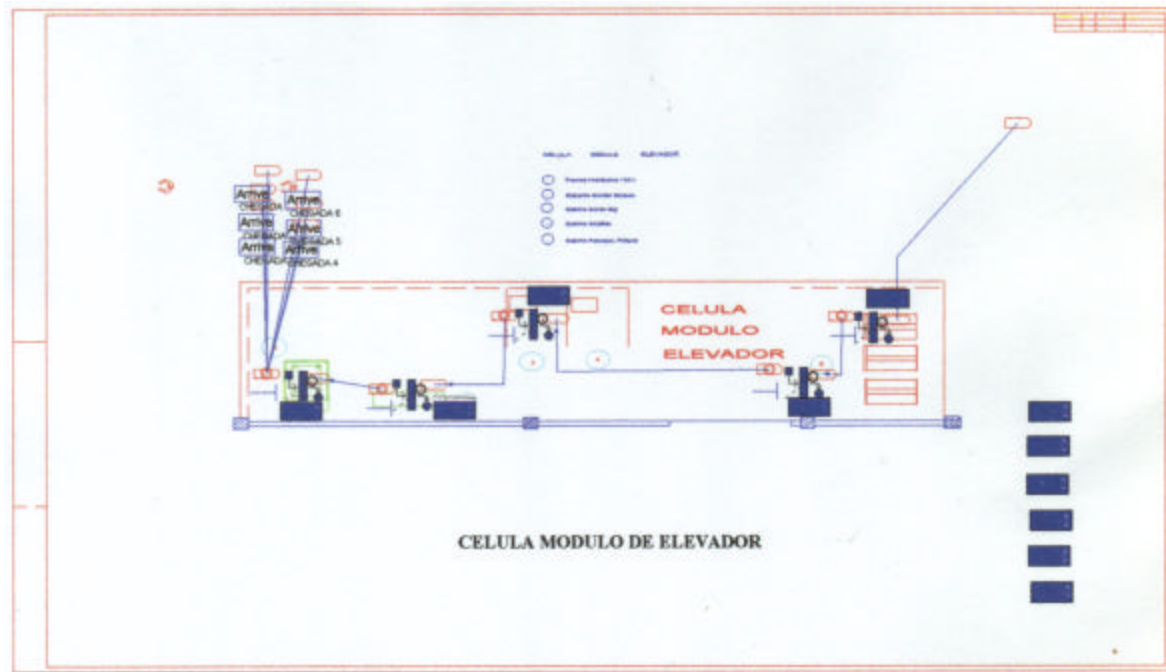


Figura 4.25. Simulação do processo proposto da célula módulo de elevador.

(Dados do pesquisador)

#### 4.7.3 Cálculo da Medida de Desempenho para o Processo Proposto

As medidas de desempenho que serão utilizadas para o processo proposto são as mesmas para o processo atual, para que se possa compará-los (definidas na secção 4.4.3). Essas medidas de desempenho são calculadas de acordo com a simulação do modelo proposto do *software* ARENA.

- Tempo de passagem (Lead time): tempo demandado para fabricação de um produto final, desde a ordem de fabricação até a sua conclusão.

$MD1 = 422.19/16 = 26.38 \text{ min}$  (dados da simulação *layout* proposto-anexo 5);

- Taxa de utilização de espaço físico: espaço físico utilizado/ quantidade produzida

$MD2 = 81/944 = 0.086 \text{ m}^2/\text{unidade}$  (dados do *layout* proposto-figura 4.19 e da simulação proposta-anexo 5);

- Taxa de ocupação das máquinas, figura 4.26 a seguir.

TAXA DE OCUPAÇÃO	%
Prensa hidráulica	30.90
Montagem	55.36
Solda	65.47
<i>Sikaflex</i>	20.68
Pintura	0.00

Figura 4.26. Taxa de ocupação das máquinas. (Dados do pesquisador)

#### 4.7.4 Análise dos resultados

De acordo com os dados obtidos foi possível comprovar que o processo com as células de manufatura possuem maior ganho e uma melhor performance que o sistema de produção convencional.

- Número de funcionários do modelo proposto: **8 funcionários**;
- Utilização do espaço físico do modelo proposto = **81 m<sup>2</sup>**;
- Distância percorrida do modelo proposto = **133 m**.

#### Comparação dos Resultados Obtidos Modelo Atual x Modelo Proposto

- Distância percorrida: Conforme a definição dos objetivos na seção 4.4.2 de uma redução de 80% obteve-se uma redução de 156% na distância percorrida pela peça, a partir do processo proposto;

Processo atual (m)	Processo proposto (m)	Redução %
341	133	156

- Número de funcionários: conforme a definição dos objetivos na seção 4.4.2, de uma redução de 30% obteve-se uma redução de 75%, em função de terceirizar parte da operação e de melhorias conseguidas com a

célula, fazendo com que o operador execute mais de uma função, tornando-se polivalente na função;

Processo atual	Processo proposto	Redução %
14	8	75

- Utilização do Espaço Físico: conforme a definição dos objetivos na seção 4.4.2, de uma redução de 25% obteve-se uma redução de 46%, aproximando-se as operações, conseguindo uma boa funcionabilidade da célula;

Processo atual (m <sup>2</sup> )	Processo proposto (m <sup>2</sup> )	Redução %
118	81	46

- Diminuição da complexidade do processo produtivo: conforme se verificou nos *layouts* atual x proposto, percebe-se uma boa diminuição no distanciamento das operações, obtendo, com a célula, um processo definido, de fácil visualização e funcionabilidade.

#### 4.8 Etapa 6- Balanceamento de Células

Esta etapa ocorre dentro do processo de simulação. À medida que vai se simulando o modelo, consegue-se otimizar o *layout*, alterando tamanho do lote, verificando as filas, a taxa de ocupação das máquinas, os operadores e os transportadores. Pode-se aumentar ou diminuir a quantidade desses elementos para se evitar a formação de gargalos e conseguir maior produtividade e eficiência do sistema.

#### 4.9 Etapa 7- Escolha do Novo Layout Celular

Após diversas simulações e alterações dos parâmetros, balanceando a célula, escolheu-se o novo *layout* celular. O novo *layout* para o estudo de caso é o mostrado na figura 4.19.

#### 4.9.1 Passos para a Escolha do Novo *Layout* Celular:

- Pelo cálculo das medidas de desempenho;
- Fluxo de material, de pessoal, de matéria- prima, etc;
- Maior produtividade;
- Melhor utilização do espaço físico;
- *Lead time*.

#### 4.10 Etapa 8 - Implantação do Novo *Layout* Celular

Estudadas as célula1 (módulo de elevador) e 2 (caçamba), colocou-se em prática, como célula piloto, somente a célula1. Os desenhos do novo *layout* (disposição das máquinas com cotas e medidas), a planta elétrica e hidráulica deverão ser disponibilizados para o pessoal envolvido nas modificações. A parte elétrica deverá ser suspensa para tornar a fábrica flexível em futuras melhorias e alterações de *layout*. As máquinas não deverão ser chumbadas, mas sim niveladas e colocadas em cima de amortecedores, para obter maior flexibilização em possíveis alterações.

Efetuada a disseminação das informações em se trabalhar com célula de manufatura, o funcionário passou a ter maior flexibilidade em seu trabalho. Em poucos dias com o novo processo, o grupo já pôde perceber os ganhos e as melhorias alcançadas.

A seguir são apresentadas algumas fotos para ilustrar situações que ocorreram na célula 1 do módulo de elevador, demonstrando realmente os ganhos obtidos de migrar para um sistema mais eficiente com células de manufatura.



(A)



(B)

Figura 4.27 Foto (A) da prensa hidráulica e foto (B) calha do módulo de elevador

As fotos mostram a prensa hidráulica, foto (A) onde é executada a união a frio no sistema atual e a foto (B) mostram as calhas do módulo de elevador, já executado o processo nesta prensa hidráulica.

A seguir mostram-se os dispositivos onde são montados os módulos de elevadores: foto(C), conforme o modelo para o processo proposto e, na foto (D) mostra-se o detalhe do cilindro pneumático para abertura e fechamento do dispositivo de montagem. Esse detalhe é importante, pois mostra a aplicação da filosofia *just in time*, com dispositivos simples, mas focado na manufatura celular



(C)



(D)

Figura 4.28 Fotos (C) dispositivos de montagem e (D) detalhe do cilindro.





(E) (F)  
 Figura 4.29 Fotos do módulo de elevador semi-pronto (E) e pronto (F)

Nas fotos acima se observa na célula 1, proposta, o módulo de elevador (E), em que está sendo aplicado o *sikaflex* com um operador e na foto (F) os módulos já prontos para serem transportados para o box do cliente. Na primeira foto este mesmo operador aplica o *sikaflex* e faz o acabamento com pintura, enquanto que no processo antigo esses módulos eram transportados para um sistema tradicional de pintura. Aplica-se aqui, novamente, a filosofia *just in time*, conforme Tubino (1999), em que se dividi uma pintura tradicional em pequenas cabines de pintura, eliminando tempo e transporte, que não agregam valor ao produto. O operador torna-se multifuncional, executando mais de uma operação na célula.

Nas fotos a seguir apresenta-se a substituição de uma prensa hidráulica do sistema tradicional (G) por um sistema com cilindros hidráulicos (H), similares a este, para fazer a união a frio dos módulos de elevadores no processo proposto, sendo um dispositivo projetado e criado exclusivamente para a célula, liberando a prensa hidráulica para as outras aplicações de repuxo, já que esta máquina estava se tornando gargalo, fazendo com que os módulos ficassem retidos em estoques intermediários.





(G)



(H)

Figura 4.30 Fotos da prensa hidráulica (G) e dispositivo hidráulico (H)

#### 4.11 Etapa 9- Manutenção e Melhorias

O último procedimento do modelo, após ter sido implantado o sistema, foi fazer um acompanhamento de manutenção, aperfeiçoados e implantados alguns procedimentos de melhorias.

Nesse novo sistema deve-se manter o ambiente limpo e organizado (usando a técnica do 5s), usando-se ferramentas como o CCQ (Círculos de Controle de Qualidade) para implantar melhorias e fazer o grupo crescer em conhecimentos.

Esse processo de melhoria deve ser constante, pois quando se atinge um patamar deve-se lutar para alcançar um novo degrau na melhoria do processo ou do sistema. Este será um processo contínuo, pois a empresa deve lutar para obter funcionários treinados, com maior grau de instrução e motivados para colocar suas sugestões em prática e sendo recompensados. Seus líderes e gerentes devem ser dinâmicos e com visão, para que este sistema alcance seus objetivos com maior eficiência.

#### **4.12 Considerações**

Neste capítulo foi realizado um estudo de caso de uma indústria metal-mecânica, aplicando o modelo proposto no capítulo 3. Inicia-se com os dados gerais da empresa, mostrando-se sua linha de fabricação, seu processo produtivo e a aplicação do modelo proposto, passo a passo, numa situação real, verificando-se na prática que os objetivos foram alcançados.

No próximo capítulo serão apresentados as referências bibliográficas, a bibliografia e os anexos.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

### 5.1. Conclusões

As empresas, para se tornarem competitivas neste mercado globalizado, devem estar continuamente buscando melhorar e aprimorar seus métodos e processos e, conseqüentemente, diminuir seus custos. Devem usar ferramentas que propiciem alcançar esses objetivos de maneira mais rápida e eficiente.

Com este intuito, buscou-se desenvolver um modelo para avaliação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular, empregando como ferramenta de avaliação das alterações propostas com a aplicação do modelo: a simulação computacional.

Alguns pontos importantes poderão ser concluídos com a utilização do modelo para empresas com processo de fabricação repetitiva em lotes ou em empresas sob encomenda, mas que possuem diversos equipamentos padrões fabricados em lotes, como foi o caso prático aplicado.

Demonstrou-se, com a aplicação do modelo em uma empresa metal-mecânica, uma redução na distância percorrida pela peça, uma redução no número de funcionários na célula e uma redução na utilização do espaço físico.

Com a formação das células de manufatura, além dos ganhos obtidos e percebidos de acordo com as medidas de desempenho, os procedimentos ficam mais claros, há maior simplificação no controle de materiais e melhoria na qualidade do processo.

A seguir estão descritas as conclusões do trabalho em se desenvolver um modelo de avaliação da mudança de um sistema de produção convencional para manufatura celular empregando simulação discreta.

O primeiro objetivo específico de apresentar mudanças de *layout* industrial como forma de melhorar a produtividade pôde-se concluir como atingido, pois foram apresentadas formas de cálculo e alterações de *layout*, escolhendo a nova situação e fazendo diversas simulações, obtendo-se o novo *layout* celular, de acordo com a disposição das máquinas e equipamentos, minimizando o volume de transporte de

materiais no fluxo produtivo e diminuindo o *lead time*. Enfatizou-se também o *layout* antigo por processo, modificando-o para *layout* celular, com agrupamento por família de produtos.

Quanto ao segundo objetivo específico de avaliar a produção focalizada em células de manufatura *versus* sistema convencional, afirma-se que se conseguiu atingir as metas propostas conforme se pode conferir de acordo com as medidas de desempenho, pois se consegue obter mais eficácia no processo com maior produtividade, menor tamanho do lote, menor *lead time*, melhor taxa de utilização do espaço físico, etc.

Obtendo-se um *layout* celular consegue-se, também, maior controle no processo, como melhor qualidade, redução de custos, diminuição de refugos e maior flexibilidade nos processos.

Com a produção focalizada em células de manufatura consegue-se uma maior consciência de chão de fábrica em relação à economia e à otimização de recursos.

Além de mudar processos, a manufatura celular tem que mudar a cultura dos trabalhadores, sendo uma nova filosofia de produção e de melhoramento contínuo.

O terceiro objetivo específico foi alcançado usando-se a simulação computacional, que é uma ferramenta importante no projeto e na análise de *layout*, na compra de máquinas e nos procedimentos de operação. Gargalos podem ser identificados e corrigidos.

No modelo simulado percebeu-se as melhorias em comparando-o com o sistema antigo. Obteve-se ganhos de *lead time*, espaço físico, diminuição do número de funcionários e melhoria no fluxo de materiais.

Com a simulação pôde-se visualizar o sistema como um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes. Montou-se na tela do computador, por meio da lógica, o programa, utilizando os blocos ou a animação do *layout* da fábrica, representado por estações de trabalho (máquinas) e os caminhos por onde passam as peças (entidades).

Quanto ao quarto e último objetivo específico pretendido por este trabalho em se demonstrar a viabilidade de aplicação do modelo proposto em uma empresa metal-mecânica nos itens de fabricação repetitiva em lote, pôde-se concluir que o modelo mostrou-se viável na empresa em estudo, no caso real.

Baseado nos valores obtidos para as medidas de desempenho, calculadas a partir dos dados retirados da simulação computacional, pôde-se perceber as melhorias alcançadas para o modelo proposto, como menor *lead time*, melhor taxa de utilização do espaço físico e melhor taxa de ocupação das máquinas. Houve, ainda, uma redução significativa na distância percorrida pela peça e no número de funcionários.

## 5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

De acordo com o trabalho desenvolvido, a aplicação prática do modelo para avaliação da mudança de um sistema convencional para manufatura celular, empregando simulação discreta, pensa-se não ser o fim de um estudo, por isso recomenda-se outra pesquisa, de forma a enriquecer os termos abordados neste trabalho, que são:

- **Desenvolver um programa computacional que analise o desempenho global da empresa:** este programa computacional deverá analisar os procedimentos desde a entrada do pedido em vendas, os setores envolvidos, até sua fabricação e envio do equipamento para o cliente;
- **A simulação computacional deverá ser utilizada para avaliar a aquisição de novas máquinas para o setor produtivo da empresa:** esta ferramenta computacional poderá ser bem aproveitada para simular a compra de novas máquinas, avaliando os ganhos e benefícios que poderão advir ou mesmo evitar gastos desnecessários pela aquisição de máquinas sem um bom planejamento;
- **Utilizar a simulação computacional para analisar cenários de longo prazo:** muitas empresas que estão em crescimento a cada ano poderão usar a simulação para analisar cenários percentuais de crescimento, alterações de *layout*, verificando, ainda, a implantação de uma nova unidade fabril ou

mesmo a criação de toda uma nova empresa, com espaço para novos crescimentos;

- **Formação de operadores polivalentes:** estudar o melhor método de treinamento para os operadores nas células de manufatura. Os operadores polivalentes proporcionam ganhos de flexibilidade e produtividade na célula;
- **Padronização:** as padronizações de projetos e de operações proporcionam maior produtividade. Estudos nessa área deverão ser aprofundados para melhorar este procedimento.

## REFERÊNCIAS

- BANZATO, Eduardo. **Integrando layout com movimentação de materiais**. Revista LOG Movimentação & Armazenagem. Número 130, p.110 –111, agosto 2001.
- BLACK,,J.T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- BORBA, M. de. **Estudo de Tempos e Métodos**. Apostila do Curso de Tempos e Métodos, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- BOUCHER, T.O & MUCKSTADT, J. A. **Cost Estimating Methods for Evaluating the Conversion from a Functional Manufacturing Layout to Group Technology**, III E Transactions, Vol 17, N 3, 1984.
- CASSEL, R & MÜLLER, C. **A Simulação e os Processos de Mudança**. Anais do XVI ENEGEP, UNIMEP, 1996.
- CHASE, R.B. & AQUILANO, N. J. **Production and Operations Managements**. 5th ed. IRWIN, 1989.
- DANI, T. S. & TUBINO, D. F. **Avaliação Operacional no Ambiente Just-in-time**. Anais do 16 ENEGEP, Piracicaba, 1996.
- FREITAS FILHO, P.J. **Simulação de Sistemas de Produção**. Apostila do Curso de Simulação de Sistemas de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina,1999.
- GREENWOOD, N. R. **Implementing Flexible Manufacturing Systems**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1988.
- HALL, R. W. **Excelência em Manufatura: Just-in-time, Qualidade Total, Envolvimento de Pessoas**. 3 edição, São Paulo, IMAM, 1998.
- HARMON, R.L., PETERSON, L.D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Cam pus,1991.
- HARMON, R.L. **Reinventando a Fábrica II**, Rio de Janeiro: Campus, 1993.
- IMAI, Masaaki. **Kaizen: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. 5 ed.São Paulo: IMAM, 1994. 235p.

JUNIOR I.F.B.T. **Balanceamento de linhas**. Mogi das Cruzes, S.P: O&M Itys-Fides,1992.

LOPES, M.C. **Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura**. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LORINI, F.J. **Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1993.

LUBBEN, R.T. **Just In Time** – Uma Estratégia Avançada de Produção. São Paulo: MacGraw-Hill, 1989.

MAESTRELLI, N. BATOCHIO, A. **Avaliação do Desempenho de Células de Manufatura: Uma Proposta de Medidas**. Revista Máquinas & Metais. p. 60 – 69, outubro de 1996.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo, IMAM, 1984.

MOORE, J.M. **Plant Layout and Design**. The Mac millan Company, 1971.

MUTHER, R. **Planejamento Sistemático e Simplificado das Células de Manufatura**. São Paulo: IMAM 1997.

MUTHER, R. **Planejamento do Layout: Sistema SLP**. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção** – Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: Bookman, 1996.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte,MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial,1999.

PEGDEN, C.D. et al . **Introduction to Simulation Using SIMAN**. Mc Graw Hill.1990.

RAJAMANI, D. et al . **Integrated design of cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans**. International Journal of Production Research, Vol.28,No. 8, p. 1541-1554.1999.



Revista Banas Qualidade. **A Empresa do Futuro**, Novembro de 2000.

Revista CADESIGN , **Softwares Auxiliam na Construção de Fábricas**. Ano 7, N 79, Outubro/2001. p.20-25.

Revista P&S. **Fábrica do Futuro**: Entenda hoje como sua Indústria vai ser amanhã. p.12-98. Dezembro de 2000.

SHAFFER, S. M. & CHARNES, J. M. **Cellular verso Functional Layouts Under a Variety of shop Operating Conditions**. Decision Sciences, Vol 24 N 3, 1991.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção com Estoque Zero**: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas, Porto Alegre, Bookman, 1996.

SCHONBERGER, R.J. **Fabricação Classe Universal**. 3ª Ed. São Paulo: Pioneira, 1988.

SCHONBERGER, R.J.. **Técnicas Industriais Japonesas**. São Paulo: Pioneira, 1988.

SOUZA, PRISCILA P. P. **Simulação de Sistemas de Manufatura Aplicada a um Ambiente "Lean Manufacturing"**. Florianópolis, 1999. Dissertação de mestrado. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

SUKIMAN, D. IRANI, S.A. **Melhoria de Layout em uma Célula de Montagem**. Revista Máquinas & Metais. P. 48 – 61, Março de 2001.

THORN, R. **Cellular Solutions: Some Considerations for Cellular Manufacturing**. Sheet Metal Industries, March, pp. 9-10, 1996.

TUBINO, Dálvio Ferrari. **Sistemas de Produção**: A produtividade no chão de fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

VAKHARIA, A. & WERMMERLOV, U. **Designing a Cellular Manufacturing System**: A Materials Flow Approach Basead on Operation Sequences. III E Transations, March 1990, Vol. 22 N 1

VASSALO, Cláudia. **O Futuro da Fábrica**. Revista Exame, pág.36-54, 21 de Fevereiro de 2001.

WEIDMANN, A. **Os Softwares de simulação oferecem, um grande apoio à construção de máquinas.** Revista Máquinas& Metais. P. 64 – 71, Novembro de 1996.

## BIBLIOGRAFIA

ARAI, S. Araban. **O principio das técnicas Japonesas de produção**. São Paulo: IMAM, 1989.

FREITAS, Paulo. **Um Sistema Inteligente de Simulação para Avaliação de Desempenho Operacional de Um Sistema Flexível de Manufatura**, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção de Sistemas, UFSC, Florianópolis, 1995.

GAONA, H.B.M. **O uso da Simulação para Avaliar Mudanças Organizacionais na Produção**. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

HARREL, C. R. & MOTT, J. R. A. **Simulação: Otimizando os Sistemas**, IMAM, 2002.

HILLIER, F. & LIEBERMANN, **Introduction to Operations Research**. Mc Graw Hill. 1998.

JUNIOR I.F.B.T. **Layout**. Mogi das Cruzes, SP: O&M Itys-Fides, 1999.

JUNIOR, I.F.B.T. **Produção Produtividade Eficiência**. Mogi das Cruzes,SP: O & M Itys – Fides,1995.

LAW, A.M. **A Forum on Crucial Issues in Simulation Modeling**. Industrial Engineering, May 1993.

LAW, A.M. et al. **Pitfalls to avoid in the simulation of manufacturing systems**. Industrial Engineering, May 1989.

LEE, Q. **Projeto de instalações e do local de trabalho**, São Paulo: IMAM, 1998.

MONTEVECHI, J. A. B. **Tecnologia de grupo aplicada ao projeto Celular de fabricação**. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

RODRIGUES, L. H. **Tópicos Básicos de Simulação Computacional**. Porto Alegre, UFRGS, 1996.

SCHRIBER, T. **Simulation Using GPSS**. John Wiley & Sons, 1996.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção – Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookmam, 1996.

TAVEIRA, R. A. **Uma metodologia para aperfeiçoamento da mudança para um sistema de produção Just-In-Time em uma indústria metalúrgica, usando a simulação discreta e técnica de projeto de experimentos de Taguchi**. Dissertação de Mestrado em engenharia de produção e sistemas, UFSC, Florianópolis, 1997.

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

## ANEXO 1 - Roteiros de Fabricação

Os roteiros de fabricação estão todos documentados no PCP. Apresentam-se abaixo os roteiros de fabricação do módulo de elevador.

PRODUTO : 42600400 MÓDULO 6018X2000 C/ORELH A GALV.

G.M.	N.PROC	INSTRUÇÃO DE SERVIÇO	T.EXEC	T.PRE
301	10	AJUSTAR, MONTAR E PONTEAR COMPLETO	16.00	0.0
501	20	SOLDAR COMPLETO	16.00	5.0
512	30	PINTAR REGIÃO SOLDADA	5.00	2.0

OBS: ENVIAR P/ EXPEDIÇÃO

PRODUTO : 42600384 FLANGE EL 6018 (GALV.)

G.M.	N.PROC	INSTRUÇÃO DE SERVIÇO	T.EXEC	T.PREP
990	10	ZINCAR ELETROLÍTICO	0.00	0.00

OBS: ENVIAR P/ CALD. 1 - BOX 2

PRODUTO : 42602898 CALHA MÓDULO 6018X2000

G.M.	N.PROC	INSTRUÇÃO DE SERVIÇO	T.EXEC	T.PREP
101	10	CORTAR NA MEDIDA 772 X 1985 MM	2.0	5.00
201	20	TAMPAR RECORTE DE CANTO	1.0	10.00
220	30	TAMPAR DOBRAS 90	3.0	10.00

OBS: ENVIAR P/ CALD. 1 - BOX 2

PRODUTO : 42602897 TAMPA MÓDULO 6018X2000

G.M.	N.PROC	INSTRUÇÃO DE SERVIÇO	T.EXEC	T.PREP
101	10	CORTAR NA MEDIDA 326 X 1985 MM	2.00	5.00

201	20	ESTAMPAR RECORTE DE CANTO W 302	1.0	10.00
220	30	ESTAMPAR DOBRAS 90 OBS: ENVIAR P/ CALD. 1 - BOX 2	3.0	10.00

PRODUTO : 42602896 DEGRAU MODULO 6018

G.M.	N.PROC	INSTRUÇÃO DE SERVIÇO	T.EXEC	T.PREP
101	10	CORTAR TIRAS NA LARGURA 70 MM	0.15	5.00
205	20	CORTAR NO COMPRIMENTO 582 MM W 329	0.28	10.00
220	30	ESTAMPAR DOBRAS 90 OBS: ENVIAR P/ CALD. 1 - BOX 2	0.22	10.00

Roteiro de fabricação do módulo de elevador (Dados do pesquisador)

## ANEXO 2 – O Código Fonte em Siman Processo Atual

PROJECT, CELULA 1,VALDIR,26/04/2003;

ATTRIBUTES: TC:

PECA:

TIPO:

TSETUP:

QueueTime:

TOPER:

\_\_ActionLabel;

VARIABLES: Tipo Antigo:

Tipo Atual;

QUEUES: VIRADEIRA\_R\_Q,FIFO:

PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q,FIFO:

PRENSA EXCENTRICA\_R\_Q,FIFO:

SIKAFLEX\_R\_Q,FIFO:

GUILHOTINA\_R\_Q,FIFO:

PINTURA\_R\_Q,FIFO:

SOLDA\_R\_Q,FIFO:

MONTAGEM\_R\_Q,FIFO:

CHEGADA 1\_TOut\_Q;

PICTURES: tipo 1:

tipo 2:

tipo 3:

tipo 4:

tipo 5:

tipo 6;

RESOURCES: PRENSA EXCENTRICA\_R,Capacity(1),-,Stationary:

PRENSA HIDRAULICA\_R,Capacity(1),-,Stationary:

GUILHOTINA\_R,Capacity(1),-,Stationary:

VIRADEIRA\_R,Capacity(1),-,Stationary:

PINTURA\_R,Capacity(1),-,Stationary:

SOLDA\_R,Capacity(1,)-,Stationary:  
 SIKAFLEX\_R,Capacity(1,)-,Stationary:  
 MONTAGEM\_R,Capacity(1,)-,Stationary;

STATIONS: CHEGADA:  
 VIRADEIRA:  
 CHEGADA 1:  
 BOX DO CLIENTE:  
 CHEGADA 2:  
 SOLDA:  
 SIKAFLEX:  
 CHEGADA 3:  
 CHEGADA 4:  
 PINTURA:  
 CHEGADA 5:  
 CHEGADA 6:  
 GUILHOTINA:  
 PRENSA HIDRAULICA:  
 PRENSA EXCENTRICA:  
 MONTAGEM;

DISTANCES: DISTANCIAS,PINTURA-CHEGADA 6-80,  
 PRENSA EXCENTRICA-VIRADEIRA-7,  
 CHEGADA 2-GUILHOTINA-56,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 5-90,  
 BOX DO CLIENTE-SIKAFLEX-142,  
 SIKAFLEX-PINTURA-78,  
 PINTURA-BOX DO CLIENTE-93,  
 GUILHOTINA-VIRADEIRA-25,  
 PRENSA HIDRAULICA-PINTURA-139,  
 BOX DO CLIENTE-VIRADEIRA-120,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 3-90,  
 PINTURA-CHEGADA 2-80,  
 PINTURA-CHEGADA 5-80,  
 MONTAGEM-SIKAFLEX-6,  
 MONTAGEM-CHEGADA 6-84,  
 PRENSA HIDRAULICA-PRENSA EXCENTRICA-44,



PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 6-90,  
 CHEGADA 1-GUILHOTINA-56,  
 CHEGADA 5-GUILHOTINA-56,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 1-90,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 4-90,  
 SOLDA-SIKAFLEX-6,  
 VIRADEIRA-PRENSA HIDRAULICA-24,  
 BOX DO CLIENTE-PRENSA HIDRAULICA-140,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA-118,  
 MONTAGEM-PINTURA-76,  
 CHEGADA 4-GUILHOTINA-56,  
 MONTAGEM-CHEGADA 2-140,  
 PINTURA-CHEGADA 1-72,  
 GUILHOTINA-SIKAFLEX-80,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 2-90,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 5-90,  
 GUILHOTINA-CHEGADA 6-56,  
 GUILHOTINA-PRENSA EXCENTRICA-20,  
 PRENSA HIDRAULICA-MONTAGEM-62,  
 PINTURA-CHEGADA 4-80,  
 MONTAGEM-CHEGADA 5-84,  
 PRENSA HIDRAULICA-GUILHOTINA-36,  
 MONTAGEM-SOLDA-8,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 3-90,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 6-90,  
 CHEGADA 3-GUILHOTINA-56,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 1-90,  
 GUILHOTINA-PINTURA-120,  
 PINTURA-CHEGADA 3-80,  
 MONTAGEM-CHEGADA 1-140,  
 MONTAGEM-CHEGADA 4-82,  
 PRENSA HIDRAULICA-CHEGADA 4-90,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 2-90;

TRANSPORTERS: CARRINHO 4,1,DISTANCE(DIST),60.,STATION(SIKAFLEX) -Active:  
 EMPILHADEIRA,2,DISTANCE(DIST),150.---,STATION(CHEGADA 1)-Active:  
 CARRINHO 1,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(PRENSA HIDRA)-Active:

PONTE ROLANTE,1,DISTANCE(DIST),70.---,STATION(GUILHOTI)-Active:  
 CARRINHO 2,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(MONTAGEM)-Active:  
 CARRINHO 3,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(SOLDA)-Active;

COUNTERS: Setups:

Tipo1:

Tipo2:

Tipo3:

Tipo4:

Tipo5:

Tipo6;

TALLIES:

SIKAFLEX\_R\_Q Queue Time:

SOLDA\_R\_Q Queue Time:

PRENSA EXCENTRICA\_R\_Q Queue Time:

VIRADEIRA\_R\_Q Queue Time:

GUILHOTINA\_R\_Q Queue Time:

MONTAGEM\_R\_Q Queue Time:

TEMPO PECA 1:

TEMPO PECA 2:

TEMPO PECA 3:

TEMPO PECA 4:

TEMPO PECA 5:

PINTURA\_R\_Q Queue Time:

TEMPO PECA 6:

PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q Queue Time;

DSTATS:

NQ(PINTURA\_R\_Q),# in PINTURA\_R\_Q:

MT(CARRINHO 4),CARRINHO 4 Active:

MT(PONTE ROLANTE),PONTE ROLANTE Active:

MR(GUILHOTINA\_R),GUILHOTINA\_R Available:

MR(SIKAFLEX\_R),SIKAFLEX\_R Available:

MR(PINTURA\_R),PINTURA\_R Available:

MT(CARRINHO 3),CARRINHO 3 Active:

NT(CARRINHO 4),CARRINHO 4 Busy:

NR(SIKAFLEX\_R),SIKAFLEX\_R Busy:

MT(CARRINHO 2),CARRINHO 2 Active:

NT(CARRINHO 3),CARRINHO 3 Busy:  
 MT(CARRINHO 1),CARRINHO 1 Active:  
 NT(CARRINHO 2),CARRINHO 2 Busy:  
 NT(CARRINHO 1),CARRINHO 1 Busy:  
 NR(SOLDA\_R),SOLDA\_R Busy:  
 NR(GUILHOTINA\_R),GUILHOTINA\_R Busy:  
 NR(PRENSA EXCENTRICA\_R),PRENSA EXCENTRICA\_R Busy:  
 MR(VIRADEIRA\_R),VIRADEIRA\_R Available:  
 NQ(PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q),# in PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q:  
 NR(PRENSA HIDRAULICA\_R),PRENSA HIDRAULICA\_R Busy:  
 NR(PINTURA\_R),PINTURA\_R Busy:  
 MT(EMPILHADEIRA),EMPILHADEIRA Active:  
 NQ(SOLDA\_R\_Q),# in SOLDA\_R\_Q:  
 NQ(SIKAFLEX\_R\_Q),# in SIKAFLEX\_R\_Q:  
 NQ(MONTAGEM\_R\_Q),# in MONTAGEM\_R\_Q:  
 NT(EMPILHADEIRA),EMPILHADEIRA Busy:  
 MR(SOLDA\_R),SOLDA\_R Available:  
 NQ(GUILHOTINA\_R\_Q),# in GUILHOTINA\_R\_Q:  
 MR(MONTAGEM\_R),MONTAGEM\_R Available:  
 NT(PONTE ROLANTE),PONTE ROLANTE Busy:  
 NR(MONTAGEM\_R),MONTAGEM\_R Busy:  
 NQ(VIRADEIRA\_R\_Q),# in VIRADEIRA\_R\_Q:  
 NQ(PRENSA EXCENTRICA\_R\_Q),# in PRENSA EXCENTRICA\_R\_Q:  
 MR(PRENSA HIDRAULICA\_R),PRENSA HIDRAULICA\_R Available:  
 NR(VIRADEIRA\_R),VIRADEIRA\_R Busy:  
 MR(PRENSA EXCENTRICA\_R),PRENSA EXCENTRICA\_R Available;

REPLICATE, 1,0.0,144690,Yes,Yes,11130;

SETS: TEMPO,TEMPO PECA 1,TEMPO PECA 2,TEMPO PECA 3,TEMPO  
 PECA 4,TEMPO PECA 5,TEMPO PECA 6:  
 Tipos,Tipo1,Tipo2,Tipo3,Tipo4,Tipo5,Tipo6:  
 PECAS,tipo 1,tipo 2,tipo 3,tipo 4,tipo 5,tipo 6;

## ANEXO 3 – Relatório de Simulação Atual

## ARENA Simulation Results

valdir - License #9400000

## Summary for Replication 1 of 1

Project: CELULA 1

Run execution date : 9/ 9/2003

Analyst: VALDIR

Model revision date: 26/ 4/2003

Replication ended at time : 144690.0

Statistics were cleared at time: 11130.0

Statistics accumulated for time: 133560.0

## TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
SIKAFLEX_R_Q Queue Tim	.00000	.00000	.00000	.00000	2432
SOLDA_R_Q Queue Time	3.3010	1.8726	.00000	45.700	2432
PRENSA EXCENTRICA_R_Q	7.4663	4.2850	.00000	226.13	2440
VIRADEIRA_R_Q Queue Ti	25.473	5.0724	.00000	178.71	2437
GUILHOTINA_R_Q Queue T	45.219	4.5868	.00000	217.12	2443
MONTAGEM_R_Q Queue Tim	89.125	8.0148	.00000	281.31	2433
TEMPO PECA 1	212.59	(Insuf)	98.287	541.26	99
TEMPO PECA 2	223.46	(Insuf)	98.759	569.93	112
TEMPO PECA 3	168.92	(Insuf)	98.759	320.63	64
TEMPO PECA 4	240.22	41.588	97.759	759.65	396
TEMPO PECA 5	338.50	30.823	97.759	997.45	936
PINTURA_R_Q Queue Time	.03738	.02614	.00000	11.486	2432
TEMPO PECA 6	384.94	19.485	97.980	1082.4	825
PRENSA HIDRAULICA_R_Q	16.277	2.6955	.00000	135.98	2435

## DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in PINTURA_R_Q	6.8072E-04	(Insuf)	.00000	2.0000	.00000
CARRINHO 4 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
PONTE ROLANTE Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
GUILHOTINA_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
SIKAFLEX_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
PINTURA_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 3 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 4 Busy	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
SIKAFLEX_R Busy	.18209	.02737	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 2 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 3 Busy	.04006	.00602	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 1 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 2 Busy	.04127	.00621	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 1 Busy	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
SOLDA_R Busy	.29552	.04472	.00000	1.0000	.00000
GUILHOTINA_R Busy	.09091	.01462	.00000	1.0000	1.0000
PRENSA EXCENTRICA_R Bu	.08775	.01625	.00000	1.0000	1.0000
VIRADEIRA_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in PRENSA HIDRAULICA	.29676	.07049	.00000	11.000	.00000
PRENSA HIDRAULICA_R Bu	.18171	.02992	.00000	1.0000	1.0000
PINTURA_R Busy	.09648	.01512	.00000	1.0000	.00000
EMPILHADEIRA Active	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
# in SOLDA_R_Q	.06011	.03155	.00000	3.0000	.00000
# in SIKAFLEX_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in MONTAGEM_R_Q	1.6236	.32110	.00000	18.000	1.0000
EMPILHADEIRA Busy	.21323	.03193	.00000	2.0000	.00000
SOLDA_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in GUILHOTINA_R_Q	.83027	.18443	.00000	41.000	15.000
MONTAGEM_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

PONTE ROLANTE Busy	.13379	.02097	.00000	1.0000	1.0000
MONTAGEM_R Busy	.29380	.04437	.00000	1.0000	1.0000
# in VIRADEIRA_R_Q	.46486	.13110	.00000	16.000	2.0000
# in PRENSA EXCENTRICA	.13640	.08702	.00000	21.000	.00000
PRENSA HIDRAULICA_R Av	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
VIRADEIRA_R Busy	.16055	.02694	.00000	1.0000	1.0000
PRENSA EXCENTRICA_R Av	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

## COUNTERS

Identifier	Count	Limit
<hr/>		
Setups	1492	Infinite
Tipo1	99	Infinite
Tipo2	112	Infinite
Tipo3	64	Infinite
Tipo4	396	Infinite
Tipo5	936	Infinite
Tipo6	825	Infinite

Simulation run time: 6.33 minutes.

Simulation run complete.

## ANEXO 4 – O Código Fonte em Siman Processo Proposto

PROJECT, CELULA 1,VALDIR,26/04/2003;

ATTRIBUTES: TC:

PECA:

TIPO:

TSETUP:

QueueTime:

TOPER:

\_\_ActionLabel;

VARIABLES: Tipo Antigo:

Tipo Atual;

QUEUES: PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q,FIFO:

SIKAFLEX\_R\_Q,FIFO:

PINTURA\_R\_Q,FIFO:

SOLDA\_R\_Q,FIFO:

CHEGADA 1\_TOut\_Q:

MONTAGEM\_R\_Q,FIFO;

PICTURES: tipo 1:

tipo 2:

tipo 3:

tipo 4:

tipo 5:

tipo 6;

RESOURCES: PRENSA HIDRAULICA\_R,Capacity(1,)-,Stationary:

PINTURA\_R,Capacity(1,)-,Stationary:

SOLDA\_R,Capacity(2,)-,Stationary:

SIKAFLEX\_R,Capacity(1,)-,Stationary:

MONTAGEM\_R,Capacity(1,)-,Stationary;

STATIONS: CHEGADA 1:

BOX DO CLIENTE:

CHEGADA 2:  
 SOLDA:  
 CHEGADA 3:  
 SIKAFLEX:  
 CHEGADA 4:  
 CHEGADA 5:  
 PINTURA:  
 CHEGADA 6:  
 PRENSA HIDRAULICA:  
 MONTAGEM;

DISTANCES: DISTANCIAS,SIKAFLEX-BOX DO CLIENTE-112,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 5-120,  
 CHEGADA 4-PRENSA HIDRAULICA-4,  
 PINTURA-BOX DO CLIENTE-114,  
 SIKAFLEX-PINTURA-3,  
 CHEGADA 2-PRENSA HIDRAULICA-4,  
 CHEGADA 6-SIKAFLEX-19,  
 CHEGADA 5-SIKAFLEX-19,  
 CHEGADA 4-SIKAFLEX-19,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 4-120,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 1-120,  
 CHEGADA 3-SIKAFLEX-19,  
 CHEGADA 2-SIKAFLEX-19,  
 CHEGADA 1-SIKAFLEX-19,  
 SOLDA-SIKAFLEX-6,  
 BOX DO CLIENTE-PRENSA HIDRAULICA-115,  
 CHEGADA 5-PRENSA HIDRAULICA-4,  
 PRENSA HIDRAULICA-MONTAGEM-4,  
 MONTAGEM-SOLDA-6,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 6-120,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 3-120,  
 CHEGADA 3-PRENSA HIDRAULICA-4,  
 CHEGADA 1-PRENSA HIDRAULICA-4,  
 PRENSA HIDRAULICA-SIKAFLEX-16,  
 BOX DO CLIENTE-CHEGADA 2-120,  
 CHEGADA 6-PRENSA HIDRAULICA-4;



TRANSPORTERS: CARRINHO 4,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(SIKAFLEX)-Active:  
 EMPILHADEIRA,2,DISTANCE(DIST),150.-,STATION(CHEGA1)-Active:  
 CARRINHO1,1,DISTANCE(DIST),60.--,STATION(PRENSA HIDR)-Active:  
 CARRINHO2,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(MONTAGEM)-Active:  
 CARRINHO3,1,DISTANCE(DIST),60.---,STATION(SOLDA)-Active;

COUNTERS:     Setups:  
                   Tipo1:  
                   Tipo2:  
                   Tipo3:  
                   Tipo4:  
                   Tipo5:  
                   Tipo6;

TALLIES:       SIKAFLEX\_R\_Q Queue Time:  
                   SOLDA\_R\_Q Queue Time:  
                   MONTAGEM\_R\_Q Queue Time:  
                   TEMPO PECA 1:  
                   TEMPO PECA 2:  
                   TEMPO PECA 3:  
                   TEMPO PECA 4:  
                   TEMPO PECA 5:  
                   PINTURA\_R\_Q Queue Time:  
                   TEMPO PECA 6:  
                   PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q Queue Time;

DSTATS:       NQ(PINTURA\_R\_Q),# in PINTURA\_R\_Q:  
                   MT(CARRINHO 4),CARRINHO 4 Active:  
                   MR(SIKAFLEX\_R),SIKAFLEX\_R Available:  
                   MR(PINTURA\_R),PINTURA\_R Available:  
                   NT(CARRINHO 4),CARRINHO 4 Busy:  
                   MT(CARRINHO 3),CARRINHO 3 Active:  
                   NR(SIKAFLEX\_R),SIKAFLEX\_R Busy:  
                   NT(CARRINHO 3),CARRINHO 3 Busy:  
                   MT(CARRINHO 2),CARRINHO 2 Active:  
                   NT(CARRINHO 2),CARRINHO 2 Busy:

MT(CARRINHO 1),CARRINHO 1 Active:  
 NT(CARRINHO 1),CARRINHO 1 Busy:  
 NR(SOLDA\_R),SOLDA\_R Busy:  
 NQ(PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q),# in PRENSA HIDRAULICA\_R\_Q:  
 NR(PRENSA HIDRAULICA\_R),PRENSA HIDRAULICA\_R Busy:  
 NR(PINTURA\_R),PINTURA\_R Busy:  
 MT(EMPILHADEIRA),EMPILHADEIRA Active:  
 NQ(SOLDA\_R\_Q),# in SOLDA\_R\_Q:  
 NQ(SIKAFLEX\_R\_Q),# in SIKAFLEX\_R\_Q:  
 NQ(MONTAGEM\_R\_Q),# in MONTAGEM\_R\_Q:  
 NT(EMPILHADEIRA),EMPILHADEIRA Busy:  
 MR(SOLDA\_R),SOLDA\_R Available:  
 MR(MONTAGEM\_R),MONTAGEM\_R Available:  
 NR(MONTAGEM\_R),MONTAGEM\_R Busy:  
 MR(PRENSA HIDRAULICA\_R),PRENSA HIDRAULICA\_R Available;

REPLICATE, 1,0.0,144690,Yes,Yes,11130;

SETS: TEMPO,TEMPO PECA 1,TEMPO PECA 2,TEMPO PECA 3,TEMPO PECA  
 4,TEMPO PECA 5,TEMPO PECA 6:  
 Tipos,Tipo1,Tipo2,Tipo3,Tipo4,Tipo5,Tipo6:  
 PECAS,tipo 1,tipo 2,tipo 3,tipo 4,tipo 5,tipo 6;

ANEXO 5 – Relatório de Simulação Proposto  
 ARENA Simulation Results  
 valdir - License #9400000

Summary for Replication 1 of 1

Project: CELULA 1  
 Analyst: VALDIR

Run execution date : 9/ 9/2003  
 Model revision date: 26/ 4/2003

Replication ended at time : 144690.0  
 Statistics were cleared at time: 11130.0  
 Statistics accumulated for time: 133560.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
<hr/>					
SIKAFLEX_R_Q Queue Tim	.00000	.00000	.00000	.00000	4572
SOLDA_R_Q Queue Time	.00000	.00000	.00000	.00000	4574
MONTAGEM_R_Q Queue Tim	233.23	64.359	.00000	1090.0	4575
TEMPO PECA 1	390.46	(Insuf)	64.313	1224.4	171
TEMPO PECA 2	349.64	(Insuf)	62.313	1213.1	243
TEMPO PECA 3	361.16	(Insuf)	62.313	1122.6	170
TEMPO PECA 4	422.19	112.52	62.313	1504.4	944
TEMPO PECA 5	424.27	51.738	62.313	1273.8	1724
PINTURA_R_Q Queue Time	--	--	--	--	0
TEMPO PECA 6	485.79	96.919	62.313	1681.2	1320
PRENSA HIDRAULICA_R_Q	127.21	19.723	.00000	726.59	4586

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
<hr/>					
<hr/>					

# in PINTURA_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
CARRINHO 4 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
SIKAFLEX_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
PINTURA_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 4 Busy	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
CARRINHO 3 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
SIKAFLEX_R Busy	.20686	.02365	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 3 Busy	.07531	.00856	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 2 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 2 Busy	.07534	.00854	.00000	1.0000	.00000
CARRINHO 1 Active	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
CARRINHO 1 Busy	.07325	.00921	.00000	1.0000	.00000
SOLDA_R Busy	.65470	.07436	.00000	2.0000	2.0000
# in PRENSA HIDRAULICA	4.3682	1.0724	.00000	81.000	.00000
PRENSA HIDRAULICA_R Bu	.30903	.03891	.00000	1.0000	.00000
PINTURA_R Busy	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
EMPILHADEIRA Active	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
# in SOLDA_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in SIKAFLEX_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in MONTAGEM_R_Q	8.0363	2.7027	.00000	68.000	11.000
EMPILHADEIRA Busy	.19053	.02220	.00000	2.0000	.00000
SOLDA_R Available	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
MONTAGEM_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
MONTAGEM_R Busy	.55361	.06276	.00000	1.0000	1.0000
PRENSA HIDRAULICA_R Av	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

## COUNTERS

Identifier	Count	Limit
------------	-------	-------

Setups	570	Infinite
Tipo1	171	Infinite
Tipo2	243	Infinite

Tipo3	170	Infinite
Tipo4	944	Infinite
Tipo5	1724	Infinite
Tipo6	1320	Infinite

Simulation run time: 8.95 minutes.

Simulation run complete.